

FACULTE de MEDECINE de CAEN

Année : 1972

N° 62

THESE

pour le

DOCTORAT en MEDECINE

(Diplôme d'état)

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA MASSE GRASSE CORPORELLE

(ETUDE EXPERIMENTALE ET PROPOSITION
D'UN ABAQUE)

par

Philippe BOUCE

ANCIEN EXTERNE DES HOPITAUX DE CAEN

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 7 JANV. 1972

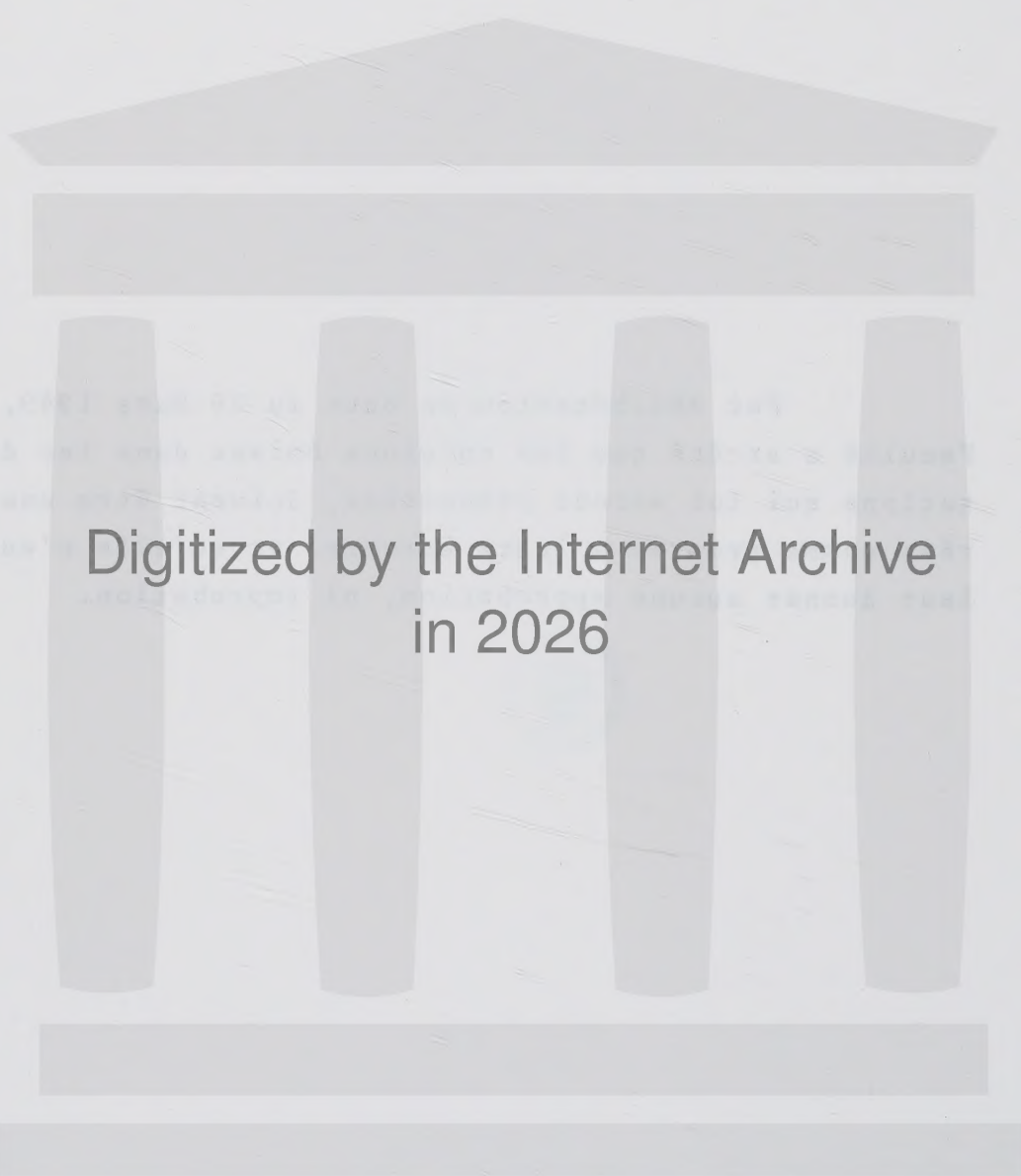
PRESIDENT: M. le PROFESSEUR LEMAIRE



Reproduction du sceau original de la Faculté de Médecine de CAEN, fondée en 1438



Par délibération en date du 29 Mars 1969, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550818_0009

MM. PORIN	Clinique médicale A
BONNET	Clinique obstétricale
FOUCAULT	Pathologie expérimentale
GUIBE	Clinique chirurgicale A
GUIHARD	Pédiatrie
LACROIX	Clinique et pathologie chirurgicales B
LEMAIRE	Physiologie
LEMENAGER	Sémiologie
LHIRONDEL	Clinique médicale infantile
OLIVIER	Clinique médicale B
PHELINE	Anatomie
POULAIN	Médecine opératoire
SAVINI	Pharmacologie
VALLA	Médecine générale et thérapeutique
VILLEY	Clinique médicale C

MM. FABRE	Physiologie
POILPRE	Psychiatrie

MM. BAZIN	Thérapeutique, réanimation médicale
BEUVE-MERY	Médecine interne
BRION	Psychiatrie
DAVERNE	Electro-radiologie
DESCHAMPS	Dermatologie
DROSDOWSKY	Biochimie médicale
EVARD	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
FERNANDEZ	Physique médicale
GAUBERTI	Médecine préventive et santé publique, hygiène
GIGNOUX	Chirurgie générale
IZARD	Histologie et embryologie
LECHEVALIER	Neurologie
LEVY	Gynécologie et obstétrique
LOYAU	Rhumatologie
MOREL	Bactériologie, parasitologie, virologie
MORIN	Neurologie
MOULIN	Pharmacologie
QUESNEL	Anesthésiologie
ROUSSELOT	Anatomie pathologique
THERET	Histologie et embryologie
THOMAS	Immunologie, hématologie
VENEZIA	Pédiatrie

A la mémoire de mon Grand-Père,

A mes Grands-Mères,

A mes Parents,

dont le sacrifice m'a permis d'embrasser cette
magnifique profession. Qu'ils trouvent ici le
témoignage de notre affectueuse reconnaissance.

A ma Femme,

qu'elle trouve ici l'expression de toute mon
affection.

A mes fils,

Guillaume, Sylvain et Loïc

A mes Frères,

A mes Beaux-Parents,

A toute ma Famille,

A mes Amis.

A notre Président de Thèse,

Monsieur le Professeur Robert LEMAIRE

Professeur de Physiologie à l'UER de Médecine de CAEN

Docteur -ès- Sciences

Biologiste des Hôpitaux

Directeur de l'UER - EPS de CAEN

qui nous a fait le grand honneur d'accepter
la présidence de cette thèse, nous a accueil-
li dans son laboratoire et nous a montré
tout l'intérêt des recherches expérimentales.

A tous nos Professeurs de la Faculté de Médecine de CAEN

A mes Maîtres de l'Externat :

Monsieur le Professeur J. PORIN

Doyen Honoraire de la Faculté de Médecine de CAEN

En témoignage de reconnaissance pour son
enseignement et ses bienveillants conseils.

Monsieur le Professeur J. GUIMARD

Professeur de Pédiatrie de la Faculté

Monsieur le Professeur J. LHIRONDEL

Professeur de Clinique Médicale Infantile de la Faculté

Monsieur le Docteur E. DESCHAMPS

Maître de conférences Agrégé de Dermatologie

Monsieur le Docteur G. LOYAU

Maître de conférences Agrégé de Rhumatologie

Monsieur le Docteur L. HAMON

A nos Juges :

Monsieur le Professeur Jacques FABRE
Biologiste des Hôpitaux

qui nous a confié le sujet de cette thèse
et qui a bien voulu en suivre pas à pas
la réalisation ; en témoignage de notre
respectueuse gratitude.

Monsieur le Docteur Yves FERNANDEZ
Maître de conférence
Agrégé de Physique de la Faculté
Biologiste des Hôpitaux

il a bien voulu juger ce travail comme il
nous a toujours manifesté ses encouragements.

Monsieur le Docteur Jacques QUESNEL
Maître de conférence
Agrégé d'Anesthésiologie de la Faculté

qui nous a fait l'amitié de bien vouloir
être le juge de cette thèse et nous a
prodigué ses encouragements lors de sa
réalisation.

A Monsieur René LEMONNIER

Directeur de l'UER - EPS de CAEN

en le remerciant de l'aide qu'il nous a
apporté et de l'intérêt qu'il nous a ma-
nifesté au cours de nos travaux.

A mes Collègues du Laboratoire de Physiologie de la Faculté
de Médecine de CAEN :

Monsieur le Docteur J.L HAUTTEMENT

Assistant au CHU de CAEN

avec toute mon amitié

Monsieur le Docteur G. COURCOUV

Madame le Docteur M.J. LEMAITRE

Assistante au CHU de CAEN

A Monsieur le Docteur G. DEMEYER

Assistant au CHU de CAEN

pour ses précieux conseils

A Monsieur et Madame J.F. BOUTEMY

leurs lumières mathématiques nous ont
souvent tiré d'un réel embarras et leur
aide nous a été précieuse.

A Monsieur le Docteur Daniel SAUVAGE

qui nous fait l'amitié de nous accueillir
dans l'exercice de notre profession.

A Monsieur le Docteur Jacques BIBAUT

il nous a fait bénéficier de son expérien-
ce et nous a toujours accueilli chez lui
comme un fils.

Qu'il me soit aussi permis de remercier :

- le Personnel du Service d'Exploration Fonctionnelle
du CHR de CAEN et tout particulièrement Mademoiselle M. COLLEU

- le Personnel du Laboratoire de Physiologie de la
Faculté de Médecine de CAEN et tout particulièrement Madame
BRIOSNE et Monsieur SIMON.

ils nous ont aidé à réaliser ce travail
dans les meilleures conditions.

C O N T R I B U T I O N A L ' E T U D E
D E L A M A S S E G R A S S E C O R P O R E L L E

=====

(E T U D E E X P E R I M E N T A L E E T
P R O P O S I T I O N D ' U N A B A Q U E)

(Travail effectué au laboratoire de Physiologie de la Faculté
de Médecine de CAEN)

Thalès de Milet (VIIe siècle avant J. C) conçut le premier, que le principe fondamental de la vie était l'eau, et par là le principal constituant du corps humain.

Peu après, Hippocrate (Ve - IVe siècle avant J. C.) et ses disciples, par le biais de la philosophie, décomposèrent le corps en quatre éléments : l'eau, l'air, la terre et le feu animés par le "pneuma". En termes plus biologiques, Hippocrate avait établi que notre corps contenait quatre éléments dont les proportions correctes étaient nécessaires au maintien d'une bonne santé : le sang, la bile jaune, la bile noire, et le phlegma. Certes il n'ignorait pas que le corps contenait du sang, de la "viande", des os et de la peau, mais ces termes de boucherie lui semblaient impropres à définir le corps vivant et ses caractéristiques fonctionnelles.

Bien qu'ayant découvert la valeur de l'expérimentation et de l'observation, Galien (IIe siècle après J. C.) conçut le corps à travers un système théologique ou le "pneuma" est toujours l'essence de la vie, pouvant se présenter sous trois formes : l'esprit animal siégeant dans les hémisphères cérébraux, l'esprit vital sis dans le coeur, et l'esprit naturel situé dans le foie.

Après la période d'obscurantisme du Moyen-Age, l'étude du corps humain reprit, d'abord selon des critères purement morphologiques, puis anatomiques grâce à Léonard de Vinci, André Vésale (1514-1564), et Gabriel Fallope (1523 - 1562)

Paracelse (1493-1541), dans le même temps, émet l'hypothèse selon laquelle le corps humain est constitué de substances chimiques en équilibre. Au XVIIe siècle, grâce au microscope, M. Malpighi (1628-1694) fonde les bases de l'anatomie microscopique.

Désormais, l'analyse du corps humain va s'effectuer grâce aux travaux conjoints des anatomistes, des chimistes, des histologistes et des physiologistes.

Nous nous pencherons plus particulièrement dans ce travail sur les moyens d'exploration qui décomposent le corps humain en 4 constituants :

- eau
- protéines
- partie minérale
- graisses

Ces méthodes de travail sont souvent regroupées, chez les auteurs Anglo-Saxons, sous le nom de méthodes "somatolytiques"

Dans une deuxième partie, nous exposerons les résultats des mesures effectuées par quelques méthodes sélectionnées pour leur facilité, dans une population de futurs professeurs d'éducation physique.

Quelques remarques préliminaires

A - DEFINITIONS :

Il était tentant de faire du corps humain un système à deux composantes : les graisses d'une part, le poids maigre d'autre part, regroupant : l'eau, les minéraux et les protéines.

Poids du corps = Graisses corporelles + Poids maigre

$$P_C = G_C + P_M$$

Certains auteurs ont utilisé le terme "Poids dégraissé" qui correspond à ce qui reste du Poids total du corps après ablation des tissus gras. Etant donné que les tissus gras, de dépôt, ne sont pas constitués uniquement de matières lipidiques, mais aussi d'eau extra-cellulaire et de résidus cellulaires, et que le poids dégraissé contient encore des substances lipidiques (dans le cerveau et dans les parois cellulaires notamment) nous avons préféré la notion de poids maigre.

Il est certain que ce système à deux composantes est encore une source d'erreurs, surtout dans l'estimation d'une des composantes par rapport à la mesure de l'autre ; ainsi une erreur dans l'estimation du pourcentage du poids maigre, si légère soit-elle, pourra entraîner une grande variation du poids des graisses corporelles ; l'inverse, c'est-à-dire l'estimation du poids maigre par soustraction des graisses mesurées du poids total du corps, n'entraînera pas de grosses erreurs sur le chiffre du poids maigre. [GARN (54)]

Le remède est évident : il faudrait pouvoir déterminer l'une ou l'autre des deux composantes par des méthodes indépendantes.

B - RAPPELS DE PHYSIQUE :

- Notion de masse volumique ou masse spécifique ou densité absolue d'un corps : c'est la masse de l'unité de volume de ce corps, c'est donc le rapport de la masse M au volume V occupé.

$$\rho = D = \frac{M}{V} \text{ exprimée en grammes par ml}$$

- Notion de densité relative d'un corps par rapport à l'eau : c'est le rapport de la masse M d'un corps à la masse m du même volume d'eau distillée, à 4°C de température.

$$d = \frac{M}{m}$$

Ce rapport est aussi égal au rapport de la masse volumique du corps, ρ ou D et de la masse volumique de l'eau à la température du corps ρ_{H2O}

$$d = \frac{\rho}{\rho_{H2O}} \quad \left(\text{ou} \quad \frac{D}{D_{H2O}} \right)$$

La densité relative est un nombre sans dimension.

- Application du principe d'Archimède :

Lorsqu'un système est constitué de deux éléments de densités absolues connues D_1 et D_2 , la mesure de la densité absolue D_T du système permet de calculer les masses respectives des deux éléments, M_1 et M_2 tels que $M = M_1 + M_2$.

Si M_1 représente le pourcentage de M_1 par rapport à M , on aura la relation :

$$M_1 = \frac{1}{D_T} \times \frac{D_1 \times D_2}{D_2 - D_1} - \frac{D_1}{D_2 - D_1}$$

- Notion de poids et de masse :

Le poids d'un corps est la force d'attraction que la terre exerce sur ce corps.

On mesure un poids à l'aide d'un dynamomètre (par allongement d'un ressort ou déformation d'un corps élastique).

La masse d'un corps est indépendante du lieu où s'effectue la mesure ; elle est une constante de ce corps qui caractérise la quantité de matière que contient le corps.

On mesure une masse à l'aide d'une balance à contre-poids, (dans la plupart des cas on mesure la masse d'un sujet exprimée en kilogrammes et non son "poids".)

1ère PARTIE

LES METHODES DE MESURE DES GRAISSES
CORPORELLES ET DU POIDS MAIGRE

Les méthodes d'étude de la composition du corps humain sont de deux types :

I - Méthodes d'analyse directe

II - Méthodes d'analyse indirecte

Les méthodes d'analyse directe ne peuvent se faire, bien sûr, que sur le cadavre ; elles représentent un travail ardu et délicat/

Pour étudier une population humaine, nous devons donc nous adresser à des méthodes indirectes, malgré leurs nombreuses sources d'erreurs ; nous pouvons les diviser en :

II A - méthodes anthropométriques

II B - méthodes biochimiques

II C - méthodes densimétriques

II D - les abaques

I - LES METHODES D'ANALYSE DIRECTE :

Les premières effectuées en vue d'obtenir la composition du corps humain, par dissection, ont été réalisées par des anatomistes allemands, il y a un siècle environ. Les résultats nous en sont transmis dans les travaux de VIERORDT (124-125) et de VOLKMANN (126-127), et concernent des mesures des proportions d'eau, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et des cendres dans le cadavre d'un homme de 33 ans pesant 69,6 kg, et d'un homme de 61,8 kg. Il est remarquable, que déjà à cette époque, les densités relatives des différents organes aient été précisées.

KEYS A. et BROZEK J. (69) ont utilisé les chiffres des cadavres analysés par MITCHELL et col. (90), WIDDOWSON et col. (132) et FORBES et col. (47), pour définir le "corps de référence" nécessaire au calcul des formules densitométriques (cf. tableau n° 1).

Les méthodes directes permettent en outre de déterminer les densités respectives des différents constituants du corps, et les proportions de ces constituants par rapport au poids total.

Les proportions des différents constituants du corps de référence sont les suivantes :

- | | | | |
|--------------|----------|--------------|---------|
| - eau totale | : 62,4 % | | |
| - protéines | : 16,4 % | | |
| - graisses | : 15,3 % | | |
| - minéraux | : 5,9 % | : | |
| | | - osseux | : 4,8 % |
| | | - non osseux | : 1,1 % |

Ce corps de référence a une masse volumique à 36° C de 1,064 g/ml

Les masses volumiques à 36° C des différents constituants sont les suivantes :

- | | | | | |
|-------------|-----------|------|-------------------|--------------|
| - eau | : 0,99371 | g/ml | (Fidanza et col.) | (45) |
| - protéines | : 1,340 | g/ml | (Fidanza et col.) | (45) |
| - graisses | : 0,9007 | g/ml | (Fidanza et col.) | (45) |
| - minéraux | : 3,038 | g/ml | (Mendez et col.) | (85) |
| | | | - osseux | : 2,982 g/ml |
| | | | - non osseux | : 3,317 g/ml |

Tableau n° 1

REFERENCES	AGE : années	TAILLE : cm	POIDS : kg	H 20 : kg	GRAISSES : kg	PROTEINES : kg	MINÉRAUX : kg	INDEXE PROTÉINIQUE
MITCHELL (90) (1945)	35	183	70,6	47,9	8,8	10,2	3,4	0,2
WIDDOWSON (132) (1951)	25	179	71,8	44,4	10,7	11,9	4,6	0,2
FORBES (47) (1953)	46	168,5	53,8	30	10,5	10,1	2	0,2
MOYENNE = corps de référence	35,3	176,8	65,4	40,8	10,0	10,7	3,7	0,2

La masse maigre - a une masse volumique à 36° C de 1,100 g/ml
- représente 84,7 % du poids total du corps
- contient 73,8 % d'eau.

Le résidu cellulaire (c'est-à-dire ce qui reste quand on a enlevé les graisses, la partie minérale osseuse et l'eau extra-cellulaire) présente les caractéristiques suivantes :

- eau intra-cellulaire	: 72,7 %
- protéines	: 25,7 %
- minéraux non osseux	: 1,6 %
- densité absolue à 36° C	: 1,078 g/ml

Ce résidu représente 63,9 % du poids total du corps.

II - LES METHODES D'ANALYSES INDIRECTES :

Ce sont les méthodes les plus utilisées, les plus diverses ; elles sont souvent coûteuses, et exigent une coopération totale des sujets d'expérimentation.

a) Les plus simples sont les méthodes anthropométriques : elles établissent une relation entre poids maigre ou masse volumique et de nombreux paramètres facilement mesurables tels que taille, poids, plis cutanés, périmètres, diamètres.

b) ensuite viennent les méthodes biochimiques ou biophysiques qui étudient des paramètres "internes" et leurs relations directes ou indirectes avec graisses corporelles et poids maigre.

c) enfin le troisième volet des analyses indirectes est constitué par les mesures densimétriques, très utilisées, mais nécessitent un appareillage imposant pour déterminer le volume du corps humain.

d) dans un dernier chapitre, nous exposerons les abaques réalisés actuellement à partir des paramètres étudiés ci-dessus.

II - A - LES METHODES ANTHROPOMETRIQUES

1) Taille et poids : ce sont les deux paramètres qui, pour "l'homme de la rue", représentent le mieux l'état d'obésité ou de maigreur d'un sujet.

En fait, ces deux paramètres ont moins de succès auprès des chercheurs qui travaillent sur la composition du corps humain. Ils ont néanmoins été utilisés par certains d'entre-eux : BEHNKE, COWGILL, PIERSON et EAGLE, WILMORE, SLOAN A. W., VON DOBELN et HECHTER.

Taille et poids peuvent être reliés :

- soit en poids maigre
- soit à la masse volumique ou à la densité relative du corps.

Ils peuvent être utilisés seuls, séparément ou conjointement, ou encore associés à d'autres paramètres anthropométriques (diamètres, périmètres, plis cutanés).

Les résultats des rapports entre taille, poids et poids maigre ou densité se présentant sous la forme d'équations de régression.

Nous rapportons ici les plus fréquemment utilisées.

Taille - poids maigre (PM)

$$\text{BEHNKE (18) } \begin{matrix} \text{PM} \\ \text{kg} \end{matrix} (\text{Hommes}) = 0,204 \times \begin{matrix} (\text{taille})^2 \\ \text{dm} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{PM} \\ \text{kg} \end{matrix} (\text{Femmes}) = 0,18 \times \begin{matrix} (\text{taille})^2 \\ \text{dm} \end{matrix}$$

Taille - poids - densité relative

$$\text{COWGILL (39) : } d = 0,22 \left(\frac{(\text{taille})^{0,725}}{(\text{poids})^{0,3}} \right) + 0,75$$

ou formule simplifiée :

$$d = 0,8 \left(\frac{(\text{taille})^{0,242}}{(\text{poids})^{0,1}} \right) + 0,162$$

taille en cm
poids en g

La valeur de la densité relative ainsi calculée pourra secondairement être introduite dans les formules densimétriques.

2) Plis cutanés - tissu adipeux sous cutané :
Les méthodes sont au nombre de trois principalement.

a) utilisation d'un compas à bourrelets : cette méthode a été mise au point par BEST W. R (24) en 1954. Les compas utilisés par les chercheurs développent généralement une pression de 10 grammes par mm² de surface de contact. WILMORE et BEHNKE (134), BROZEK (34)

b) utilisation d'un ultrasonoscope : matériel coûteux utilisant des ultrasons de $2,5 \times 10^6$ cycles/seconde dont le temps de trajet aller et retour à travers la couche adipeuse sous-cutanée est fonction de l'épaisseur de celle-ci. Cette technique est utilisée souvent chez les animaux (ALSMeyer et Coll. (6), STOUFFER (120), mais moins souvent chez l'homme (BOOTH et Coll.(29), WHITTINGHAM (31))

c) radiographie : l'image radiographique (obtenue avec des rayons X mous) permet de visualiser la couche sous-cutanée et de la mesurer avec la plus grande précision (GARN (52-53)).

Choix des sites de mesure :

- cuisse : sur une ligne verticale à la face antérieure et à mi-distance entre le pli inguinal et le rebord supérieur de la rotule.

- bras : sur une ligne verticale à la face postérieure et à mi-distance entre l'acromion et l'olécrâne.

- abdomen : sur une horizontale passant par l'ombilic, à mi-distance entre celui-ci et la projection de la ligne axillaire moyenne.

- omoplate : sur une ligne oblique en dehors et en bas à partir de la pointe de l'omoplate, formant un angle de 30° par rapport à la verticale.

- crête iliaque : pli vertical sur la ligne axillaire moyenne.

RESULTATS :

VIERORDT (125) : le tissu adipeux sous-cutané représente la moitié de la masse totale adipeuse

SLOAN (114) : masse volumique D : (hommes) - pli cutané

$$D = 1,1043 - 0,001327 \times \text{pli cuisse (mm)} - 0,00131 \times \text{pli scapulaire (mm)}$$

g/ml

SLOAN (115) : masse volumique D : (femmes) - pli cutané

$$D = 1,0764 - 0,00081 \times \text{pli supra iliaque (mm)} - 0,00088 \times \text{pli bras (mm)}$$

g/ml

YUHASZ (137) : Graisses corporelles (GC) - plis cutanés

$$\text{GC en \%} = 5,783 + 0,153 (\text{pli bras} + \text{pli scapulaire} + \text{pli abdominal} + \text{pli suprailiaque}).$$

plis en mm

WILMORE et BEHNKE (135) : masse volumique : D - plis cutanés (mm)

$D = 1,08543 \times \text{pli abdomen} - 0,00040 \times \text{pli cuisse}$
g/ml

WILMORE et BEHNKE (135) Poids maigre (PM) - poids total - plis cutanés (mm)

$PM = 10,260 + 0,7927 \times \text{poids total} - 0,3676 \times \text{pli abdominal}$
kg kg mm

WILMORE et BEHNKE (135) Poids maigre (PM) - poids total - taille - plis cutanés

$PM = - 6,481 + 1,1401 \times \text{taille} + 0,7453 \times \text{poids total} -$
 $0,2423 \times \text{pli abdominal} - 0,2017 \times \text{pli cuisse} +$
 $0,2100 \times \text{pli genou}.$

3) Périmètres et diamètres :

Les mesures se font à l'aide d'un anthropomètre pour les diamètres ou d'un mètre à ruban pour les périmètres.

Les diamètres peuvent encore être mesurés sur des radiographies (BEHNKE (18)) (GARN (53)).

a) Le nombre de périmètres est de 25, compte tenu des périmètres droits et gauches pour les membres supérieurs et inférieurs. Les périmètres les plus utilisés sont ceux de la cage thoracique (sur la ligne mammelonnaire, cage thoracique bloquée au milieu d'une inspiration normale) et de l'abdomen (sur une ligne horizontale passant par l'ombilic et les crêtes iliaques).

b) Les diamètres les plus utilisés, parmi les 20 sites possibles sont le poignet (distance entre les deux apophyses styloïdes) le genou (distance entre les deux condyles fémoraux), la cage thoracique (au niveau de la ligne horizontale passant par la cinquième côte), le diamètre bi-iliaque (distance entre les deux crêtes iliaques).

Résultats des droites de régression :

VON DOBELN (122) :

$$\text{Poids maigre (kg)} = 15,1 \left(\frac{\text{taille}}{\text{dm}} \times \frac{\text{diamètre genou}}{\text{dm}} \times \frac{\text{diamètre poignet}}{\text{dm}} \right)^{0,712}$$

HECHTER (59)

$$\text{Poids maigre (kg)} = 519 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{diamètre thorax}}{\text{cm}}^{0,75} \times \frac{\text{poignet}}{\text{cm}}^{0,43} \times \frac{\text{taille}}{\text{cm}}^{1,18} \right)$$

BEHNKE, en 1961 (19) (20) (122) utilise pour le calcul du poids maigre la somme de onze périmètres associés (C) divisée par une constante K telle que

$$D = \frac{C}{K} \approx \sqrt{\frac{\text{poids (kg)}}{\text{taille (dm)}}}$$

$K = 300 = \text{somme de } K_1, K_2, \dots, K_{11}$: constantes spécifiques de conversion pour chaque périmètre.

En 1968, WILMORE et BEHNKE (134)

$$\text{poids maigre} = D^2 \times \text{taille}^{0,7} \times 0,263$$

où D se redéfinit comme étant la somme de six diamètres (ou de huit diamètres) divisée par la somme de six constantes spécifiques de ces diamètres (ou par la somme de huit constantes).

En France, les méthodes anthropométriques ont été utilisées par des auteurs tels que LEMAIRE R. et Coll (76), LEBIDEAU et Coll. (74-75), LACOUR et Coll. (73) et DUCROS H. (43) qui utilise, lui, la technique de PASCALE et Coll (99).

II - B- LES METHODES BIOCHIMIQUES

Elles n'ont été réellement étudiées et utilisées pour l'analyse du corps humain que depuis une trentaine d'années ; ceci a été rendu possible grâce aux progrès des techniques de laboratoire dans les domaines physiques et chimiques.

Toutes ont en commun le principe de base affirmant la constance des pourcentages de certains composants de l'organisme humain. Cette constance a été démontrée dès 1922 grâce aux travaux de J.A MURRAY (94) puis de C.R MOULTON en 1923 (91) Ces auteurs travaillaient sur des animaux présumés normalement constitués. Les travaux, chez l'homme, n'infirmèrent pas la constance de composition de l'organisme sain. Peu à peu, on pût démontrer la vraisemblance de l'hypothèse d'Hippocrate selon laquelle un organisme vivant était en bon état quand les proportions de ses différents éléments constitutifs étaient respectées où du moins ne variaient que faiblement par rapport aux pourcentages "normaux".

Dans l'étude du complexe poids maigre-graisses corporelles, les auteurs se sont attachés à trouver des paramètres facilement mesurables qui pourraient constituer une fraction fixe soit de la masse maigre, soit de la masse adipeuse. Presque tous ces paramètres sont liés à la masse maigre et non à la masse adipeuse.

Nous verrons successivement les méthodes utilisant :

- 1°) la mesure de l'eau totale
- 2°) la mesure de la créatinine urinaire
- 3°) la mesure de la consommation d'oxygène
- 4°) la mesure des différentes fractions du potassium
- 5°) la mesure de l'absorption de gaz inertes

II - B - 1°) Méthodes utilisant la mesure de l'eau totale :

Le corps humain peut être assimilé à un ensemble comprenant une fraction relativement constante faite d'eau, de sels, de protéines et des structures du squelette et d'une fraction variable comprenant les graisses corporelles. Il en résulte que la masse maigre pourrait être déterminée par la mesure de l'eau totale et par conséquent on pourrait par soustraction connaître le poids de graisses corporelles (KEYS et BROZEK(69)).

Cette hypothèse a pu prendre corps grâce aux travaux d'analyse directe sur les cadavres d'animaux ou humains. RATHBUN (107) et FACE (98) montrèrent que le pourcentage d'eau dans la masse maigre était constant chez le cobaye. Chez l'homme, c'est l'analyse des trois cadavres étudiés par MITCHELL (90) WIDDOWSON (132) et FORBES (47) qui a permis de confirmer cette constance.

La difficulté de cette méthode consiste à choisir la technique de dilution la plus fidèle. Parmi ces techniques trois sont en compétition :

- la mesure de l'eau totale par l'antipyrine
- celle utilisant l'eau deutériée
- celle utilisant l'eau tritiée.

Selon KEYS et BROZEK (69) l'utilisation de l'antipyrine donne des résultats légèrement inférieurs numériquement à ceux obtenus par l'utilisation des isotopes de l'hydrogène ; cette affirmation est corroborée par les résultats obtenus par HURST et Coll.(65) et par FRIIS - HANSEN et Coll (51). En étudiant quatre-vingt un sujets OSSERMAN et Coll (97) démontrèrent qu'il y a une étroite corrélation entre la masse des graisses corporelles calculée à partir de la mesure de l'eau totale et celle calculée par densimétrie. On peut reprocher à l'antipyrine le fait, signalé par SOBERMAN (117) et (118), qu'elle peut, dans une faible mesure certes, se lier aux protéines. BRODIE et coll. (31) essaient de pallier cet inconvénient en utilisant le N-acétyl-4 aminopyrine (NAAP) ce qui entraîne un chiffre de volume d'eau totale légèrement inférieur à celui trouvé par la dilution de l'antipyrine simples

Selon PRENTICE et coll. (106), la dilution de l'eau lourde ou de l'eau tritiée donne une surestimation du volume d'eau totale de l'ordre de 2 pour cent du poids total du corps chez les sujets maigres. Les raisons de cette surestimation, selon HEVESY (61) ainsi que PRENTICE et coll. (106) sont les possibilités d'échanges entre l'isotope et l'hydrogène labile des composés organiques. Dans une étude sur les variations de la composition du corps humain avec l'âge LESSER et coll. (81), pour rendre comparables les valeurs trouvées par la dilution de l'antipyrine ou par la dilution de l'eau tritiée multiplient la valeur trouvée par l'antipyrine par 1,02 et celle trouvée par l'eau tritiée par 0,98.

Nous ne trancherons pas entre l'antipyrine et ses dérivés et des dérivés isotopiques de l'eau ; l'idéal serait, à chaque mesure par l'un, d'opposer une mesure par les autres diluants.

Quels sont les résultats ? En fait, les résultats des divers auteurs ne montrent pas une constance parfaite ; déjà en 1945 PACE et RATHEUN (98) chez le cobaye, ne firent que donner un chiffre moyen de 72,42 % d'eau totale par rapport à la masse maigre (chiffres compris entre 68,2 et 76,7 % de la masse maigre) ; en 1945 toujours (107) ils donnèrent 73,2 % comme chiffre moyen (extrêmes = 69,9 pour 8 chiens et 76,3 pour 7 lapins) de leurs résultats et des résultats de la littérature d'alors concernant des rats cobayes, lapins, chiens, singes et chats.

Chez l'homme les chiffres sont sensiblement voisins de ceux trouvés chez les animaux ; MACGANCE et WIDDOWSON (83) l'eau totale représente 71 % de la masse maigre ; ceci peut s'exprimer également sous la forme graisses corporelles (en pourcentage du poids totale du corps) = $1 - k \times \text{eau totale}$ (en pourcentage du poids total du corps) ; avec 71 pour cent $K = 1,4$.

Pour OSSERMAN et coll. (97) l'eau totale représente chez des hommes en bonne santé âgés de 18 à 46 ans, pour 71,8 pour cent de la masse maigre (71,8 % $\pm$ 2,99 %) : en d'autres termes, les graisses corporelles (GC) peuvent être obtenues selon la formule :

$GC = 1 - 1,3928 \times \text{eau totale}$; l'eau totale est ici mesurée par dilution de l'antipyrine.

KEYS et BROZEK (69) considèrent que dans la mesure où on peut parler de constance de l'eau totale par rapport au poids maigre, le chiffre de 72 pour cent avec une marge de plus du moins 3 pour cent peut être accepté ; ce chiffre est repris par BEHNKAR en 1963 (21). LESSER et coll. (81), dans leur étude sur les variations du corps humain avec l'âge trouvent des sujets de 19 à 68 ans, hommes et femmes, des valeurs allant de 64 à 71 pour cent. ALLEN et coll. (3) utilisent un chiffre de 73,2 %.

Pour essayer d'augmenter la précision de la méthode certains auteurs ont voulu combiner plusieurs méthodes ; ainsi SIRI (113) associe les méthodes densimétriques avec la mesure de l'eau totale : les graisses corporelles (GC) sont exprimées en fonction de la masse volumiques (D) et de l'eau totale (en pourcentage du poids total du corps) :

$$GC = \frac{2,250}{D} - 0,77 \frac{(\% \text{ eau totale})}{\text{poids}} - 1,354$$

A nouveau BEHNKE et SIRI en 1957 (23) modifient légèrement la formule précédente :

$$GC = \frac{213,66}{D} - 77,49 \frac{(\% \text{ eau totale})}{\text{poids}} - 137,4$$

Le gros défaut de la méthode utilisant la mesure de l'eau totale tient au fait, signalé par KEYS et BROZEK en 1953 (69), que l'eau totale mesure une fraction relativement constante, l'eau intracellulaire, et une fraction variable, l'eau extracellulaire ; cette eau extracellulaire apparait notamment liée dans ses variations aux graisses corporelles ; il en résulte que l'eau totale et les graisses ne sont pas des variables indépendantes et que pour déterminer le poids maigre à partir de la mesure de l'eau on doit s'adresser à une population en bonne santé et n'ayant pas subi de grosses modifications de poids dans la période des mesures. Pour pallier cette variabilité de l'eau extracellulaire certains auteurs ont préconisé sa mesure, concomitante de celle de l'eau totale ; c'est ainsi que MAC GANCE et WIDDOWSON (83) ont mis au point la formule suivante :

$$GC = 100 - (1,612 \times \text{eau totale}) + (0,538 \times \text{eau extracellulaire})$$

Enfin, rappelons que ces données ne concernent que les adultes sains ne présentant pas d'oedème ni de troubles de l'hydratation intracellulaire ; les résultats devront toujours être interprétés en fonction de l'âge, du sexe des sujets. Des études ont été faites chez les femmes par Mme YOUNG C.M (136) et chez les enfants par LESSER et coll. (81) ainsi que par HUNT E.E et coll. (63)

II - B - 2°) La mesure de la créatinine urinaire :

La créatinine est le produit de déshydratation de la créatine, elle-même issue de la dégradation du phosphagène musculaire. Chez l'adulte pratiquement seule la créatinine est éliminée par les urines et ceci à des taux relativement fixes (en fonction de l'âge et du sexe des sujets). Cette constance a permis à HUNTER (64) d'émettre l'hypothèse selon laquelle la créatinine urinaire est le reflet de la masse musculaire riche en phosphagène ; les muscles étant eux-mêmes une fraction importante et relativement constante de la masse maigre, il doit y avoir une relation étroite entre la quantité de créatinine éliminée par les urines et la masse maigre. Cette hypothèse a été reprise par BEARD (12) et BRODY (32).

En 1952, MILLER A.T jr et BLYTH C.s (87) ont étudié l'excrétion urinaire de la créatinine en fonction de la masse maigre déterminée par densimétrie ; cette étude a été faite sur 43 étudiants âgés de 20 à 26 ans. Les auteurs s'étaient assurés de leur bonne santé par des mesures de la P.B.I. (protein-bound-iodine), de la glycémie et de la cholestérolémie. Les prélèvements étaient initialement mesurés sur les urines de 24 heures, pendant 2 ou 3 jours, puis sur les urines recueillies entre 8 et 12 heures pendant 4 à 5 jours consécutifs, ce qui améliore la précision de la méthode selon BEST et coll. (25). Les concentrations de créatinine sont rapportées à l'heure ensuite. La relation entre l'excrétion horaire de la créatinine et la masse maigre est donnée par l'équation de régression suivante :

masse maigre = (0,5161 x créatinine urinaire) - 20,97
(la masse maigre est exprimée en Kilogrammes, l'excrétion de créatinine en mg/heure).

Les auteurs signalent que la valeur de la masse maigre ainsi obtenue est en accord à $\pm 13,1$ % avec celle obtenue par densimétrie, en ce qui concerne les résultats individuels, mais que pour des groupes de plus de 50 sujets l'accord entre les deux valeurs de la masse maigre atteint ± 2 %.

De toutes façons l'équation de régression proposée par MILLER et BLYTH (87) n'est valable que pour des adultes jeunes, de sexe masculin, et selon NOVAK L.P (95) ; elle ne peut en aucun cas être utilisée pour déterminer la masse maigre de jeunes enfants. Enfin, tous les auteurs qui ont étudié l'excrétion urinaire de la créatinine signalent sa variabilité en fonction du flux rénal, de la ration protéique et surtout de l'âge et du sexe. (CLARK et coll. (37), GARN et coll. (55), YOUNG et coll. (136) CHINN et coll. (36))

II - B - 3°) La mesure de la consommation d'oxygène :

a) La consommation d'oxygène par la masse des graisses corporelles est extrêmement faible par rapport à celle de la masse maigre. Il est raisonnable de penser que la masse maigre, ou plutôt une partie de celle-ci diminuée de la masse minérale osseuse et ramenée à une hydratation normale lorsque celle-ci est perturbée - devrait pouvoir servir de référence dans les calculs du métabolisme de base (KEYS et BROZEK (69) et réciproquement (BEHNKE A.R (15), (16)).

Quand on compare le métabolisme de base par unité de surface corporelle chez des hommes jeunes (25,2 ans de moyenne) et des sujets plus âgés (52,1 ans de moyenne) il existe une diminution de 14,5% en 27 ans, à poids moyen égal. Si on compare les valeurs du métabolisme en terme de masse active, cette différence entre sujets jeunes et sujets âgés n'est plus que d'environ 7 % (BROZEK (32)). La masse active est alors définie par BROZEK comme le poids total diminué de l'eau extracellulaire et du poids du squelette osseux.

MILLER et BLYTH (87) ont mesuré par densimétrie la masse maigre de 79 étudiants dont une femme, âgés de 18 à 35 ans, ainsi que leur consommation d'oxygène. En 1953 (88) ils ont étudié la masse maigre, la consommation d'oxygène et ont comparé les diagrammes de dispersion : masse maigre - consommation d'oxygène, masse maigre - surface corporelle, masse maigre - poids total du corps. Ils en ont conclu que la relation entre la consommation d'oxygène et l'un des trois autres paramètres était la plus étroite pour masse maigre - consommation d'oxygène, ce qui confirme les expériences des auteurs précédents.

MILLER et BLYTH (88) ont calculé l'équation de régression donnant la valeur de la masse maigre X, en fonction de la consommation d'oxygène (en ml par minute), Y

$$X \text{ (Kg)} = 0,2929 Y - 7,36$$

Inversement, ils ont calculé l'équation de régression qui donne la consommation d'oxygène à partir de la masse maigre

$$\text{Oxygène} = 17,35 \times (\text{masse maigre})^{0,74}$$

b) En 1956, SIRI (111), a observé que le volume globulaire dans la masse maigre était de 8 à 10 fois supérieur à celui de la masse grasseuse. MULDOWNNEY (92), suggéra que la différence des volumes de globules rouges par unité de masse corporelle entre des animaux plus ou moins gras traduisait fidèlement leur quantité de graisses corporelles ; il démontra que le volume globulaire, fidèle reflet de la consommation d'oxygène, était à un second degré, le reflet de la masse maigre. DOORNENBAL, chez les rats (41) et les suidés (41 et 42), mesura les volumes globulaires par le chrome-51 et leur masse maigre par analyse directe, et pût alors calculer la droite de régression unissant ces deux paramètres.

MULDOWNNEY (92) calcule l'équation de régression liant le volume globulaire et la masse maigre chez l'homme :

Y = volume globulaire en ml

X = masse maigre en kg -hommes et femmes normaux-

$$Y = 32,74 X + 155,17$$

Cette méthode d'estimation de la masse maigre conviendrait, selon MULDOWNNEY (93), particulièrement aux sujets chez qui l'estimation par la méthode de l'eau totale n'a plus de signification (maladie de Basedow, myxoedème).

c) En 1952, ASTRAND (10) trouva une corrélation étroite entre la quantité totale d'hémoglobine et la VO_2 maxi, (consommation maximale d'oxygène = capacité aérobie = quantité d'oxygène maximale pouvant être utilisée par l'organisme lors d'un effort musculaire maximal n'entraînant pas de dette d'oxygène). Cette corrélation est secondaire à la relation entre la quantité totale d'hémoglobine et le volume globulaire, d'une part, et la masse active, partie de la masse maigre, d'autre part (VON DOBELN (128)).

Il était possible alors de chercher la relation entre la Vo_2 max. et la masse maigre ; c'est ainsi qu'en 1963 LUFT et coll. (82) déterminèrent l'équation de régression suivante, permettant de calculer la Vo_2 max., y, (en litres par minute) à partir de la masse maigre x (en kilos) et inversement :

$$y = 0,03766 x - 0,0287 \text{ (déviat} \text{ion standard 0,239 litre)}$$

En France, LACOUR et coll. (73) ont étudié la masse maigre de 58 sujets jeunes (âge moyen = 19 ans) déterminée par différentes méthodes en fonction de la consommation maximale d'oxygène mesurée par la méthode du circuit ouvert.

II - B - 4°) La mesure des différentes fractions du potassium :

La cation potassium est remarquable parmi les minéraux des organismes vivants par le fait qu'on trouve presque exclusivement dans les cellules participant aux métabolismes actifs telles que les cellules des muscles et des viscères ; il ne se trouve que sous forme de liaces dans les liquides extracellulaires, dans le tissu graisseux et le collagène. (LUFT et coll. (82), KANDEL G.E (67)). En conséquence, la mesure du potassium total de l'organisme humain doit pouvoir permettre décalculer la masse cellulaire active, partie intégrante de la masse maigre, si le potassium représente une fraction constante de la masse maigre.

En 1956, FORBES G.B et LEWIS A.M (48) ont pratiqué des analyses directes de la masse maigre de quatre cadavres d'hommes adultes. Ils ont trouvé les valeurs suivantes : 66,5 milliéquivalents par kilogramme, 66,6 mEq/kg, 72,8 mEq/kg et 66,8 mEq/kg de masse maigre, ce qui donne une valeur moyenne de 68,1 mEq/kg de masse maigre.

Si l'on peut connaître la quantité totale de potassium dans l'organisme la valeur (en kg) de la masse maigre sera donnée par la relation :

$$\text{masse maigre (kg)} = \frac{\text{K (potassium en mEq)}}{68,1}$$

Il y a deux façons de mesurer le potassium :

- la méthode de dilution qui utilise le potassium radio-actif K^{42}
- le comptage de l'activité gamma émise par le potassium K^{40} , méthode plus récente et techniquement moins compliquée.

a) l'utilisation du K^{42} a été proposée par CORSA et coll. en 1950 (38) ; c'est un isotope émettant des radiations gamma de 1,52 MEV d'énergie. Le K^{42} administré au sujet se mélange au "pool" du potassium échangeable ; des exemplaires des urines doivent être analysés pendant tout le temps où se fait l'équilibre entre le K^{42} et le potassium échangeable ; cet équilibre ne se fait pas avant 24 à 48 heures (MILLER C.E et REMENCHIK, 1963) ; on mesure alors l'activité gamma de tout le sujet grâce à un compteur - 4 - π (compteur qui mesure globalement le nombre de coups-minute émis par l'organisme dans lequel s'est dilué le K^{42} , qui contient un cristal de NaI activé au thalium ; la différence entre la radioactivité initiale et la radio-activité induite par l'administration du K^{42} est fonction de la quantité de potassium normalement présent dans l'organisme. Il faut tenir compte de la quantité de potassium excrétée dans les urines.

Cette méthode de mesure exige du temps, un matériel coûteux et des manipulateurs très entraînés. De plus la technique au potassium 42 ne mesure que la fraction échangeable du potassium total, fraction estimée à 90 % du potassium total ; les 10 % de potassium non échangeable se trouvent dans le squelette osseux et le système nerveux central surtout (MILLER C.E et REMENCHIK (89)). Les auteurs estiment que le compteur sous-estime le potassium de 7 % environ chez les sujets obèses.

b) la méthode au potassium 40

Il existe normalement parmi le potassium de l'organisme, une portion rigoureusement fixe de potassium 40, isotope du potassium, émettant un rayonnement gamma de 1,46 MeV d'énergie et un rayonnement bêta de 1,32 MeV d'énergie. Le pourcentage de K^{40} dans le potassium normal est de 0,0119 %.

La radioactivité du K^{40} est mesurée grâce à un compteur in toto -synonyme du compteur 4 π) à scintillateur liquide mis au point par ANDERSON et coll. (9) et par VAN DILLA M.A et ANDERSON E.C (123). Cette technique a l'avantage de ne pas introduire d'isotope radioactif dans l'organisme et peut donc être utilisée chez le très jeune enfant. La précision de la mesure est de l'ordre de ± 5 grammes de potassium, c'est à dire de ± 4 % du potassium total pour un adulte normal de sexe masculin (ANDERSON E.C (7) (8)). Cette méthode de mesure du potassium 40 est de plus en plus utilisée par les chercheurs (FORBES et coll., (49,50) ; BARTER et coll. (11) ; MENEELY et coll. (86), KRZYWICKI H.J coll. (71, 72) qui utilisent un compteur à crystal selon la technique de MARINELLI (84)).

Quelle que soit la technique utilisée, la traduction de la quantité totale de potassium en masse maigre pose des problèmes du fait du choix d'une constante K/Kilo de masse maigre. La valeur 68,1 mEq/kilos de masse maigre déterminée par l'analyse directe de FORBES ET LEWIS (48), semble légèrement élevée pour de nombreux auteurs ; le problème se complique du fait de la variabilité de la teneur en potassium de la masse maigre en fonction de l'âge ; en effet il semble que le rapport K/masse maigre augmente jusqu'à un maximum vers 30-34 ans pour décroître ensuite (KRZYWICKI et coll. (71) ; de plus les constantes pour les hommes ne sont pas valables pour les femmes (MENEELY et coll. (86), TALSO et coll. (121); ALLEN T.M et coll. (4).

TALSO et coll. (121), ont proposé la valeur de 64,4 mEq/kg de masse maigre pour les hommes et 57,7 mEq/kg de masse maigre pour les femmes, ALLEN et coll. (4) celles de 63,3 mEq/kg de masse maigre pour les hommes et 64,0 mEq/kg pour les femmes.

Certains auteurs, pour pallier la variabilité des constantes, ont essayé de déterminer des valeurs non plus par rapport à la masse maigre, mais par rapport à d'autres paramètres liés à la masse maigre ; ainsi LUFT et coll. (82), ont liés le potassium à la consommation maximale d'oxygène, CHINN et coll. (36) le potassium à la créatininurie, TALSO et coll. (121) ainsi que BLAHD et coll. (26) le potassium à l'eau totale ; mais il ne semble pas que ces modifications aient simplifié le problème de la constance du potassium par kilogramme de masse maigre.

II - B - 5°) La mesure des graisses corporelles par l'absorption de gaz inertes :

En 1942, BEHNKE A.R (14), dans une étude sur l'aptitude des marins à la plongée sous-marine, avait démontré l'utilité de se servir de l'azote pour déterminer la proportion de graisses corporelles. Mais l'élimination de l'azote fixé sur les graisses corporelles oblige à maintenir le sujet, chez qui on effectue les mesures, pendant une période d'au moins quinze heures en atmosphère d'oxygène pur.

L'utilisation de gaz solubles dans les graisses à l'exclusion de tout autre compartiment corporel a été reprise chez le rat, par LESSER et coll. en 1952 (77). Les auteurs utilisèrent à nouveau le cyclopropane, chez l'homme cette fois (LESSER et coll. (78) et (79) ; puis conjointement, le cyclopropane et le krypton (LESSER et coll. (80)) ; ce dernier gaz avait été signalé par DAVIDSON et coll. (40), comme ayant une absorption pulmonaire proportionnelle à la masse des graisses corporelles.

Ces mesures de l'absorption soit de cyclopropane, soit de krypton par voie pulmonaire exigent :

1 - un matériel compliqué, de volume rigoureusement fixe et étanche

2 - des durées de mesure longues et fastidieuses pour les sujets chez qui on cherche à déterminer le poids de graisses.

3 - un personnel très qualifié.
Selon les auteurs eux-mêmes, bien que présentant l'immense avantage de pouvoir déterminer le poids de graisses indépendamment du poids maigre, ces techniques ne peuvent que rester du domaine de la recherche.

II - C - LES METHODES DENSIMETRIQUES :

Il faut remonter au Grec Archimède (environ 200 ans av. J.C) pour trouver le point de départ des expériences de densimétrie. Puis il faudra attendre le XVIIIe siècle pour qu'un Anglais, ROBERTSON J., en 1757 (108) essaie pour la première fois d'appliquer les mesures densimétriques à des êtres humains ; ce ne fut guère un succès car les sujets d'expérimentation étaient plus intéressés par le pourboire que par les résultats des expériences de ce précurseur. En 1915, SPIVAK (119) essaya de déterminer à son tour le volume du corps humain par la méthode de pesée sous l'eau, mais oublia de faire les corrections appropriées pour les volumes pulmonaires. Le grand départ des méthodes densimétriques a été donné par les auteurs Germaniques et par BENHKE A.R aux Etats-Unis (1942) (22).

1) METHODES :

Pour connaître la composition du corps humain en graisse et en masse maigre, il faut mesurer sa densité totale ; la masse totale est aisée à évaluer ; il ne reste plus qu'à déterminer le volume total. Il existe trois procédés pour le connaître :

- a) les procédés pneumatiques utilisés surtout par les auteurs germaniques.
- b) les mesures par immersion dans l'eau, utilisées surtout par les auteurs américains à la suite de BEHNKE.
- c) la détermination du volume par photogrammétrie.

a) les procédés pneumatiques :

Ils sont difficiles à réaliser chez l'homme adulte du fait du volume important que doit avoir la chambre étanche où l'on introduit le sujet dont on cherche à mesurer le volume ; le protocole d'expérimentations doit être rigoureux notamment en ce qui concerne les températures ambiantes. Ces méthodes ont surtout été utilisées, au départ, pour déterminer le volume de petits animaux, puis d'enfants, (PFLAUNDER (100) ; PFLEIDERER (101) ; KOHLRAUSCH (70), NOYONS et JONGBLOED (96)).

Il y a deux sortes de chambres utilisées : des chambres contenant de l'air et des chambres contenant de l'hélium. Les mesures par déplacement d'air, chez l'homme, ont été effectuées par BOHMENKAMP et SCHMAH (28), WEDGEWOOD (130), FALKNER (44), celles par déplacements d'hélium par SIRI (109, 110 et 113), par FOMON et coll. (46) pour les nouveaux nés, ainsi que par GNAEDINGER et coll. pour les suidés (57).

Malgré leurs difficultés techniques ces méthodes présentent l'énorme avantage, par rapport aux méthodes d'immersion, de ne pas avoir à tenir compte des volumes pulmonaires qui sont ici en communication directe avec l'atmosphère de la chambre de mesure.

b) Les méthodes densimétriques par immersion, ou méthodes hydrostatiques :

Ce sont les plus utilisées des méthodes densimétriques. Deux techniques sont utilisables :

1 - la pesée sous l'eau préconisée déjà par ZOOK (138) et BOYD (30) puis reprise par BEHNKE et coll. (22), RATHBUN et PACE (107), KEYS et BROZEK (69), BROZEK et coll. (34), KATCH et coll. (68).

2 - la mesure directe du volume dans des volumètres, technique préconisée par ALLEN T.H et coll. (1 et 5) et GARN et coll. (56).

Ces méthodes doivent, pour être intelligibles, tenir compte des volumes pulmonaires demeurant emprisonnés dans l'appareil respiratoire lors de la mesure du volume total. Les sujets devront être dévêtus, avoir pris une douche avant la mesure, être à jeun, et avoir évacué leurs appareils digestif et urinaire ; ils devront éliminer les bulles d'air prisonnières de leur système pileux et faire une expiration forcée pour que seul leur volume résiduel reste prisonnier des poumons. La température de l'eau de la piscine ou du volumètre sera soigneusement notée pour permettre éventuellement de calculer la densité relative.

Les volumes résiduels devront surtout être mesurés alors que le sujet est immergé jusqu'au cou ; ainsi, la pression de l'eau sur la cage thoracique, ajoutée à l'expiration forcée, minimise encore les volumes résiduels (KEYS et BROZEK (69)). Il sera tenu compte également d'un volume moyen de gaz intestinaux ; celui-ci a été étudié par BLAIR et coll. (27) qui donnent des chiffres de gaz intestinaux allant jusqu'à 2600 ml ; ce qui paraît très exagéré ; la plupart des chercheurs utilisent les volumètres se servant des chiffres donnés par BEDELL et coll. (13), allant de 100 à 125 ml.

La somme du volume résiduel et du volume estimé des gaz intestinaux sera retranchée du volume mesuré total donné par la lecture de la jauge du molumètre. La masse volumique (ou densité absolue) pour la température mesurée de l'eau, sera alors le quotient de la masse dans l'air du sujet par le volume réel ainsi calculé.

Le calcul de la masse volumique par la méthode de pesée dans l'eau, est une application de la poussée d'Archimède. Le volume V est alors le quotient de la différence entre la masse d'air, M_A , et la masse dans l'eau, M_{H_2O} , par la masse volumique de l'eau de la piscine, D_{H_2O} .

$$V = \frac{M_A - M_{H_2O}}{D_{H_2O}} \quad (\text{KEYS et BROZEK (69), GOLDMAN et BUSKIRK (58)})$$

La masse dans l'eau, M_{H_2O} est en fait la somme de la masse apparente du corps dans l'eau et de la masse d'eau déplacée par le volume résiduel ($D_{H_2O} \times V_R$) :

$$M_{H_2O} = M'_{H_2O} + (V_R \times D_{H_2O})$$

Le volume apparent du corps plongé dans l'eau devient alors :

$$V = \frac{M_A - M'_{H_2O} - (V_R \times D_{H_2O})}{D_{H_2O}} = \left(\frac{M_A - M'_{H_2O}}{D_{H_2O}} \right) - V_R$$

La densité absolue, quotient de la masse dans l'air par le volume d'eau déplacé, est alors : D_T

$$D_T = \frac{M_A}{\left(\frac{M_A - M_{H2O}}{D_{H2O}} \right) - V_R}$$

La densité relative est le rapport de la densité absolue sur la densité absolue de l'eau à la température de la mesure :

$$d_T = \frac{D_T}{D_{H2O}}$$

$$d_T = \frac{\frac{M_A}{\frac{M_A - M_{H2O}}{D_{H2O}} - V_R}}{D_{H2O}} \times \frac{1}{D_{H2O}}$$

$$d_T = \frac{M_A}{M_A - M_{H2O} - (V_R \times D_{H2O})}$$

c) La détermination du volume par photogrammétrie :

Cette méthode est une application des procédés de planimétrie ; elle consiste à photographier le sujet à mesurer selon des incidences très précises ; le sujet est placé au centre de deux sources lumineuses dont les rayons l'atteignent à travers deux feuilles transparentes de plexiglas constituées de bandes verticales de diverses couleurs ne dépassant pas un pouce de large. La surface corporelle et le volume déterminés par l'étude de la photographie, sont donnés par les formules de WILD (133).

Les études photogrammétriques ont été menées depuis 1957 par HERTZBERG et coll. (60) et PIERSON W.R (102, 103 et 104) ; ce dernier précise que les volumes ainsi déterminés sont en accord à 2 % près avec ceux trouvés par les méthodes d'immersion.

2) LES FORMULES DENSIMÉTRIQUES :

Maintenant; il nous faut, pour avoir les pourcentages de graisses et de masse maigre, introduire la densité absolue mesurée, dans des formules densimétriques.

Celles-ci sont l'application du principe d'Archimède exposé au début de cet ouvrage dans les "rappels de physique", et seront de la forme :

$$GC = \frac{1}{D_T} \times \frac{D_1 \times D_2}{D_2 - D_1} - \frac{D_1}{D_2 - D_1}$$

GC : graisses corporelles en kilogrammes

D₁ : la masse volumique, mesurée par analyse directe, de la masse des graisses

D₂ : la masse volumique, déterminée par analyse directe de la masse maigre

D_T : la masse volumique mesurée du corps dans sa totalité.

Posons GC = y de masse volumique D₁

masse maigre = x, de masse volumique D₂

x + y = 1, représentant la masse totale du corps ;

x = 1 - y

y = 1 - x

La masse volumique du corps D_T sera alors égale à =

$$D_T = \frac{x + y}{\frac{x}{D_2} + \frac{y}{D_1}} = \frac{1}{\frac{x}{D_2} + \frac{y}{D_1}}$$

$$\frac{1}{D_T} = \frac{x}{D_2} + \frac{y}{D_1} = \frac{1 - y}{D_2} + \frac{y}{D_1}$$

$$\frac{y}{D_1} = \frac{1}{D_T} - \frac{1 - y}{D_2}$$

$$y = \frac{D_1}{D_T} - \frac{D_1 - y D_1}{D_2} = \frac{D_1}{D_T} - \frac{D_1}{D_2} + \frac{y D_1}{D_2}$$

$$y - \frac{y D_1}{D_2} = \frac{D_1}{D_T} - \frac{D_1}{D_2}$$

$$y \left(1 - \frac{D_1}{D_2} \right) = D_1 \left(\frac{1}{D_T} - \frac{1}{D_2} \right)$$

$$y = \frac{D_1 \left(\frac{1}{D_T} - \frac{1}{D_2} \right)}{1 - \frac{D_1}{D_2}} = \frac{D_1 \left(\frac{1}{D_T} - \frac{1}{D_2} \right)}{\frac{D_2 - D_1}{D_2}}$$

$$y = \frac{D_1 D_2 \left(\frac{1}{D_T} - \frac{1}{D_2} \right)}{D_2 - D_1} = \frac{\frac{1}{D_T} \times D_1 D_2}{D_2 - D_1} - \frac{D_1}{D_2 - D_1}$$

$$y = \frac{1}{D_T} \times \frac{D_1 \times D_2}{D_2 - D_1} - \frac{D_1}{D_2 - D_1}$$

Les termes $\frac{D_1 D_2}{D_2 - D_1}$ et $\frac{D_1}{D_2 - D_1}$ seront des constantes

pour des valeurs données de D_1 et D_2

La multiplicité des formules densimétriques tient justement au fait que les valeurs de D_1 et de D_2 ne sont pas identiquement pour les différents auteurs. Nous avons choisi, parmi toutes les formules possibles, quatre formules que nous nous proposons d'expliciter ; la plus ancienne est celle de RATHBUN et PACE (107), puis viennent celles de SIRI (112), ALLEN (57), et BROZEK (34).

a) la formule de RATHBUN et PACE (1945)

Cette formule donne le pourcentage de graisses en fonction de la densité relative totale (d_T) contrairement à celles des trois autres auteurs qui utilisent la masse volumique du corps (D_T)

Néanmoins, les auteurs utilisent des chiffres qu'ils considèrent comme étant les masses volumiques des graisses corporelles et de la masse maigre, alors que les auteurs qui les avaient produits les considéraient eux, comme des densités relatives.

Ces chiffres sont les suivants :

- pour les graisses : " d_1 " = 0,918, chiffre cité par HODGMAN (62) qui est issu de l'analyse directe du cadavre d'un seul individu, très gras, effectuée par JAECKLE en 1902 (66).
- pour la masse maigre " d_2 " = 1,100, chiffre tiré des travaux de BEHNKE et coll. (22).

La formule donnant le pourcentage des graisses corporelles est la suivante :

$$GC = 100 \left(\frac{1}{d_T} \times \frac{1,100 \times 0,918}{1,100 - 0,918} - \frac{0,918}{1,100 - 0,918} \right)$$

$$GC = 100 \left(\frac{5,548}{d_T} - 5,044 \right)$$

L'analyse critique de cette formule, notamment en ce qui concerne sa validité est effectuée par KEYS et BROZEK (69)

b) La formule densimétrique de SIRI W.E. (112)

Comme la précédente, elle repose sur la division de l'organisme humain en une masse maigre et une masse de graisses ayant chacune une masse volumique bien déterminée.

Le pourcentage de graisses corporelles nous a donné en fonction de la masse volumique totale (D_T) mesurée à la température du corps humain.

La masse volumique des graisses -à 37° C- est alors égale à 0,900, celle de la masse maigre est de 1,100 g/ml. Le chiffre de 0,900 est fourni par FIDANZA et coll. (45).

En reportant ces chiffres dans la formule générale nous obtenons l'équation suivante :

$$GC (\%) = 100 \left(\frac{1}{D_T} \times \frac{1,100 \times 0,900}{1,100 - 0,900} - \frac{0,900}{1,100 - 0,900} \right)$$

$$GC (\%) = 100 \left(\frac{4,950}{D_T} - 4,500 \right)$$

c) La formule d'Allen et coll. (5)

Les auteurs divisent l'organisme en quatre compartiments: $M = F + W + M_3 + M_4$ et a pour masse volumique D_T (36° C)

F est le tissu adipeux ; de masse volumique D_f (36° C)

W est l'eau totale (masse volumique D_w (36° C)

M_3 est le résidu cellulaire du corps débarrassé de ses graisses, de ses minéraux osseux et de son eau (masse volumique D_3 (36° C)

M_4 représente les tissus osseux (masse volumique D_4 (36° C)

On peut regrouper ces quatre fractions différemment; ainsi M_1 représente le corps débarrassé de ses minéraux et a pour masse volumique D_1 .

$$M_1 = M - M_4$$

M_2 représente le corps débarrassé de ses graisses et de ses minéraux osseux et a pour masse volumique D_2 :

$M_2 = M - F - M_4$ ce qui revient à dire que M_2 est la somme de l'eau et du résidu cellulaire (surtout composé de protéines).

$$M_2 = W + M_3 = M_1 - F$$

est le pourcentage d'eau de M_2 :

$$w = \frac{W}{M_2} = \frac{W}{M_1 - F}$$

Les masses volumiques étant les rapports des masses sur les volumes nous pouvons écrire que :

$$D_1 = \frac{M_1}{V_1}, \quad D_2 = \frac{M_2}{V_2}, \quad D_3 = \frac{M_3}{V_3}$$

$$D_2 = \frac{M_2}{V_2} = \frac{M_1 - F}{V_1 - V_f}; \quad V_f \text{ représente le volume des}$$

graisses corporelles.

$$V_1 = \frac{M_1}{D_1}; \quad V_f = \frac{F}{D_f}$$

En substituant ces valeurs de V_1 et V_f dans l'équation donnant D_2 , on peut écrire que :

$$D_2 = \frac{M_2}{\frac{M_1}{D_1} - \frac{F}{D_f}} = \frac{M_2 D_f D_1}{M_1 D_f - F D_1} \quad \text{Equation n° 1}$$

La fraction M_2 est composée uniquement d'eau et de résidu cellulaire (M_3); pour connaître le pourcentage d'eau, w , de ce système il suffit d'appliquer la formule générale de densimétrie :

Ainsi on pourra écrire que :

$$w = \frac{1}{D_2} \frac{D_3 D w}{D_3 - D w} - \frac{D w}{D_3 - D w}$$

Si l'on pose $\frac{D w}{D_3 - D w} = a$ et $\frac{D_3 D w}{D_3 - D w} = b$, l'équation précédente

pourra s'écrire : $w = \frac{b}{D_2} - a$ d'où on tire une nouvelle valeur

$$\text{de } D_2 \quad D_2 = \frac{b}{w+a} \quad \text{Equation n° 2}$$

Les équations -1- et -2- sont les deux valeurs de D_2 ; nous pourrions donc résoudre ces deux équations pour en sortir F ;

$$\frac{M_2 D_f D_1}{M_1 D_f - F D_1} = \frac{b}{\omega + a}$$

En substituant à M_2 sa valeur $M_1 - F$ et à ω sa valeur nous aboutissons à l'équation suivante (ALLEN et coll. (2)).

$$F = \frac{D_f}{b - a D_f} \left[M_1 \left(\frac{b}{D_1} - a \right) - W \right]$$

ou encore, en posant $\frac{D_f}{b - a D_f} = K$

$$F = K \left[M_1 \left(\frac{b}{D_1} - a \right) - W \right] \quad \text{Equation n° 3}$$

Cette formule ne peut s'appliquer que pour connaître la teneur en graisses de M_1 , c'est à dire la masse représentant le corps désosé. Les auteurs ont analysé, mesuré et pesé des tissus humains et des tissus d'animaux tels que rats, cobayes et lapins C'est de ces analyses qu'ils ont tiré les valeurs numériques des différentes proportions des composantes et des différentes densités absolues à 36° C. (ALLEN et coll. (2 et 3)).

Ainsi les auteurs attribuent des valeurs pour D_f , D_ω , D_2 , D_3 , D_4 qui sont très proches des valeurs trouvées par les autres chercheurs et notamment par BROZEK et coll. (34). Ces valeurs des masses volumiques sont celles mesurées à 36° C.

$$D_f = 0,901 \text{ g/ml}$$

$$D_2 = 1,061 \text{ g/ml}$$

$$D_3 = 1,4036 \text{ g/ml}$$

$$D_4 = 2,8 \text{ g/ml}$$

$$D = 0,9936 \text{ g/ml}$$

En reportant ces valeurs dans les équations précédentes nous pouvons déterminer les valeurs de :

$$a = \frac{D_\omega}{D_3 - D} = 2,423$$

$$b = \frac{D_3 D_\omega}{D_3 - D_\omega} = 3,401$$

$$K = \frac{D_f}{b - a D_f} = 0,74$$

L'équation -3- devient alors :

$$F = K \left[M_1 \left(\frac{b}{D_1} - a \right) - W \right] = 0,74 \left[M_1 \left(\frac{3,401}{D_1} - 2,423 \right) - W \right]$$

$$F = M_1 \left(\frac{2,516}{D_1} - 1,793 \right) - 0,74 W \quad \text{Equation n° 4}$$

Il faut maintenant remplacer W par des équivalences, car on ne mesurera pas l'eau totale pour avoir la teneur en graisses du sujet.

Nous avons vu plus haut que le pourcentage d'eau dans la fraction déminéralisée et dégraissée des tissus était égal à :

$$\omega = \frac{W}{M_1 - F} \quad \text{d'où l'on peut tirer :}$$

$$W = \omega (M_1 - F)$$

La valeur de ω , chez trente sujets des deux sexes, est égale, pour ALLEN et coll. (3) à :

$$= 0,784$$

Ce chiffre est exactement semblable à celui trouvé chez vingt-deux marins par BEHNKE et SIRI (29) ; donc

$$W = 0,784 (M_1 - F)$$

En reportant cette valeur dans l'équation n° 4, nous obtenons le poids des graisses contenus dans les tissus de l'organisme, à l'exclusion des tissus minéraux de l'os.

$$F = 5,990 V_1 - 5,650 M_1 \quad \text{où } V_1 \text{ représente le volume}$$

Equation -5-

$$M_1 = M - M_4$$

$$V_1 = V - V_4$$

M, l'organisme dans sa totalité, peut à nouveau être décomposé en une fraction maigre, L, et une fraction grasse, F.

$$M = F + L ; L = M - F$$

ALLEN et coll. (3) considèrent que le pourcentage de minéraux osseux par rapport à la masse maigre a pour valeur :

$M_4 = 0,0679 L$; en d'autres termes la masse maigre contient un peu moins de 7 % de minéraux osseux ; nous pouvons obtenir la nouvelle valeur de M_1 :

$$M_1 = M - M_4 = M - 0,0679 L$$

$$M_1 = M - 0,0679 (M - F)$$

Le volume du compartiment minéral osseux, V_4 , aura pour valeur :

$$V_4 = \frac{M_4}{D_4} = \frac{0,0679 (M-F)}{2,8} = 0,0242 (M-F)$$

V_1 aura alors pour valeur :

$$V_1 = V - V_4 = V - 0,0242 (M-F)$$

En reportant ces nouvelles valeurs de M_1 et de V_1 dans l'équation n° 5, nous aurons alors la formule qui permet de calculer la masse de graisses de l'organisme entier :

$$F = 4,834 V - 4,366 M$$

ou F = le poids des graisses en kilogrammes

V = le volume total du sujet à 36° C, en litres

M = le poids du sujet dans l'air en kilogrammes

d) la formule de BROZEK et coll. (1963) (34)

Leur démonstration a pour base de calcul l'analyse directe de trois cadavres humains dont les caractéristiques sont fournies dans le tableau n° 1 (chapitre Analyses Directes) ; ces analyses permettent de définir un corps de référence, R , de masse volumique $D_R = 1,064$ (à 36° C) contenant 62,4 % d'eau, 15,3 % de graisses, 16,4 % de protéines cellulaires et 5,9 % de minéraux.

Chaque individu se définit par rapport à ce corps de référence, son organisme contient ce corps de référence plus un tissu d'obésité, G .

$$R + G = 1 \quad ; \quad \text{d'où} \quad R = 1 - G$$

Le corps de référence contient une certaine quantité de graisses F_R produit du pourcentage de graisses dans R (C_R) et de la masse de R :

$$F_G = C_R \times R \quad ; \quad \text{or } R = 1 - G \quad \text{et } C_R = 15,3 \%$$

$$F_R = \frac{15,3}{100} (1 - G) \quad \text{Equation n° 1}$$

Le tissu d'obésité G , est défini comme étant le tissu qui différencie des sujets à masse volumique élevée (= supérieure à 1,070 g/ml), et des sujets à masse volumique basse (= inférieure à 1,045 g/ml) : les sujets sont choisis de telle sorte qu'ils aient le même âge et la même taille ; les auteurs ont ainsi étudié deux groupes dont les caractéristiques sont les suivantes :

- groupe a : 16 sujets, d'âge moyen égal à 25 ans, de taille égale à 176,5 cm, de masse volumique $D_T = 1,0348$ g/ml

- groupe b : 21 sujets, âge moyen 24 ans, taille : 176,5 cm, masse volumique $D_T = 1,0798$ g/ml

La différence moyenne totale de poids entre les deux groupes est de 29,348 kilogrammes, la différence moyenne de volume est de 31,279 litres.

La densité du tissu d'obésité ainsi défini, D_G , est égale au rapport de la différence de poids sur la différence de volume :

$$D_G = \frac{29,348}{31,279} = 0,938 \text{ g/ml}$$

Ce tissu d'obésité G, contient 7% d'eau, 20 % de résidus cellulaire, 73 % de graisses ($C_G = 0,73$)

La quantité de graisses, F_G contenue dans le tissu d'obésité aura pour valeur :

$$F_G = C_G \times G$$

$$F_G = 0,73 \times G$$

Equation n° 2

Il reste à déterminer le pourcentage, g, du tissu d'obésité par rapport à la totalité de l'organisme (R + G) ; l'application de la formule densimétrique générale est possible ; en effet, nous avons un système à deux composantes dont les masses volumiques sont connues ; le pourcentage de tissu d'obésité sera donné en fonction de la masse volumique totale du sujet, D_T déterminés par les méthodes d'immersion.

$$D_R = 1,064 \text{ g/ml}$$

$$D_G = 0,938 \text{ g/ml}$$

$$g = \frac{1}{D_T} \times \frac{1,064 \times 0,938}{1,064 - 0,938} - \frac{0,938}{1,064 - 0,938}$$

$$g = \frac{7,921}{D_T} - 7,444$$

La quantité de graisses dans ce tissu d'obésité, F_G a pour valeur :

$$F_G = 0,73 \times g = 0,73 \left(\frac{7,921}{D_T} - 7,444 \right)$$

$$F_G = \frac{5,782}{D_T} - 5,434$$

Equation n° 3

La quantité de graisses contenue dans le compartiment de référence, R, prend pour valeur nouvelle, à partir de l'équation N° 1 :

$$F_R = 0,153 (1 - G)$$

$$F_R = 0,153 - 0,153 \left(\frac{7,921}{D_T} - 7,444 \right)$$

$$F_R = - \frac{1,212}{D_T} + 1,292$$

Equation n° 4

La quantité totale de graisses de l'organisme, F_T , a

pour valeur la somme de l'équation n° 3 et de l'équation n° 4 :

$$F = F_R + F_G$$

$$F = \left(- \frac{1,212}{D_T} + 1,292 \right) + \left(\frac{5,782}{D_T} - 5,434 \right)$$

$$F = \left(\frac{4,570}{D_T} - 4,142 \right) \times 100 \quad (\text{BROZEK et coll. (34)})$$

3) TABEAU COMPARATIF DES DIFFERENTES VALEURS DES POURCENTAGES DE GRAISSES SELON LA FORMULE DENSIMETRIQUE UTILISEE :

TABEAU N° 2

AUTEURS	<u>RATHBUN</u> <u>PACE</u> (107) densité relat.	<u>BROZEK</u> <u>KEYS</u> (34) masse volumi.	<u>SIRI</u> (112) (masse volumique)	<u>ALLEN</u> (5) (masse volumique)
Avec :				
1,060	19	16,9	16,9	19,4
1,061	18,5	16,5	16,5	19
1,062	18	16,1	16,1	18,5
1,063	17,5	15,7	15,6	18,1
1,064	17	15,3	15,2	17,7
1,065	16,5	14,9	14,78	17,3
1,066	16	14,5	14,3	16,87
1,067	15,5	14,1	13,9	16,4
1,068	15	13,7	13,48	16
1,069	14,5	13,3	13	15,6
1,070	14,1	12,9	12,6	15,17
1,071	13,6	12,5	12,18	14,7
1,072	13,1	12,1	11,7	14,3
1,073	12,6	11,7	11,3	13,9
1,074	12,1	11,3	10,9	13,5
1,075	11,6	10,9	10,46	13
1,076	11,2	10,5	10	12,6
1,077	10,7	10,1	9,6	12,2
1,078	10,2	9,7	9,18	11,8
1,079	9,7	9,3	8,7	11,4

TABLEAU N° 2 (suite)

	<u>RATHBUN</u> <u>PAGE</u> (densité relative)	<u>BROZEK</u> <u>KEYS</u> (masse volumique)	<u>SIRI</u> (masse volumique)	<u>ALLEN</u> (masse volumique)
1,080	9,3	8,9	8,3	11
1,081	8,8	8,5	7,9	10,57
1,082	8,3	8,1	7,48	10,1
1,083	7,8	7,7	7,0	9,7
1,084	7,4	7,38	6,6	9,3
1,085	6,9	7,0	6,2	8,9
1,086	6,4	6,6	5,8	8,5
1,087	6	6,2	5,48	8,1
1,088	5,5	5,8	4,9	7,7
1,089	5	5,4	4,5	7,3
1,090	4,5	5	4,1	5,88
1,091	4,1	4,68	3,7	5,4
1,092	3,6	4,3	3,3	6
1,093	3,2	3,9	2,88	5,6
1,094	2,7	3,5	2,4	5,2
1,095	2,2	3,1	2	4,8
1,096	1,8	2,7	1,6	4,4
1,097	1,3	2,3	1,2	4
1,098	0,8	2	0,8	3,6
1,099	0,4	1,6	0,4	3,2
1,100	0	1,2	0	2,8

II - D - LES ABAQUES :

Dans le but de fournir aux chercheurs un moyen rapide d'évaluation du pourcentage des graisses corporelles, certains auteurs ont établi des abaques permettant une lecture rapide et sans difficulté d'interprétation.

Ces abaques sont du type "à points alignés", ils traduisent les relations existant entre le pourcentage de graisses corporelles et la masse volumique (ou la densité relative) d'une part et deux variables choisies parmi les données anthropométriques d'autre part. Ces variables peuvent être le poids et la taille du sujet, ou encore les plis cutanés.

1 - En 1969, PIERSON W.R. et EAGLE E.L. (105) présentèrent un abaque donnant le pourcentage de graisses corporelles et la densité relative du corps, valable pour des adultes jeunes de sexe masculin. Cet abaque utilise le poids (exprimé en kilogrammes) et la taille (en centimètres) comme variables. La relation, entre la densité relative, d , du corps et ces deux variables, utilisée par les auteurs est celle de COWGILL, présentée en 1957 (formule simplifiée) (39).

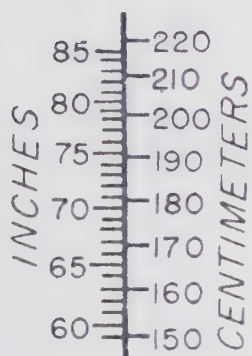
$$d = 0,8 \frac{\text{taille (cm)}^{0,242}}{\text{poids (g)}^{0,1}} + 0,162$$

La relation liant la densité relative en pourcentage de graisses est celle de RATHBUN et PACE (107)

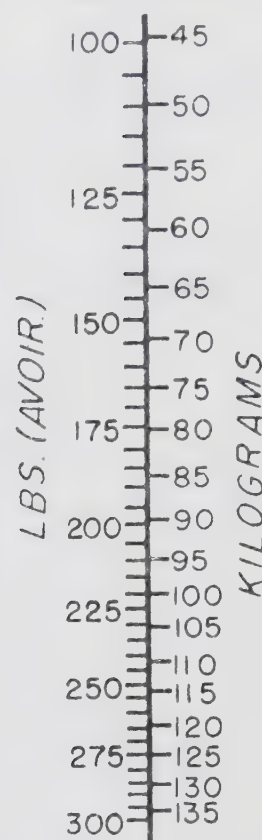
$$GC = \frac{5,548}{d} - 5,044$$

A l'aide d'une règle on relie les échelles respectivement de la taille et du poids, la droite ainsi tracée coupe l'échelle des pourcentages de graisses corporelles et de la densité relative. A l'aide du pourcentage de graisses on calcule le poids de graisses du sujet, on en déduit le poids maigre du sujet par simple soustraction (selon la formule : poids maigre = poids total du corps - poids de graisses).

HEIGHT



WEIGHT



A gauche : échelle des tailles (en centimètres et en pouces)
 A droite : échelle des poids (en kilogrammes et en livres)
 Au centre : échelle des densités relatives ("specific gravity")
 et des pourcentages des graisses corporelles.

2 - En 1970, SLOAN A.W. et J.B de V. WEIR (116) ont présenté deux abaques à points alignés utilisant comme variables des plis cutanés : le pli cutané de la cuisse et le pli sous-scapulaire pour les jeunes gens, le pli suprailiaque et le pli postérieur du bras pour les jeunes femmes.

Ces plis permettent de connaître la masse volumique D du corps des sujets :

Pour les jeunes gens :

$D = 1,1043 - 0,00133 (\text{pli ant. de la cuisse}) - 0,00131 (\text{pli scapulaire})$.

Pour les jeunes femmes :

$$D = 1,0764 - 0,00081 (\text{pli suprailiaque}) - 0,00088 (\text{pli post. du bras}).$$

Les plis sont exprimés en millimètres.

La relation entre la masse volumique et le pourcentage de graisses utilisée par les auteurs est celle de BROZEK publiée en 1963 (34).

$$GC (\text{en \% du poids total du corps}) = \frac{4,570}{D} - 4,142$$

Le principe de lecture est le même que pour le monogramme de PIERSON et EAGLE (105).

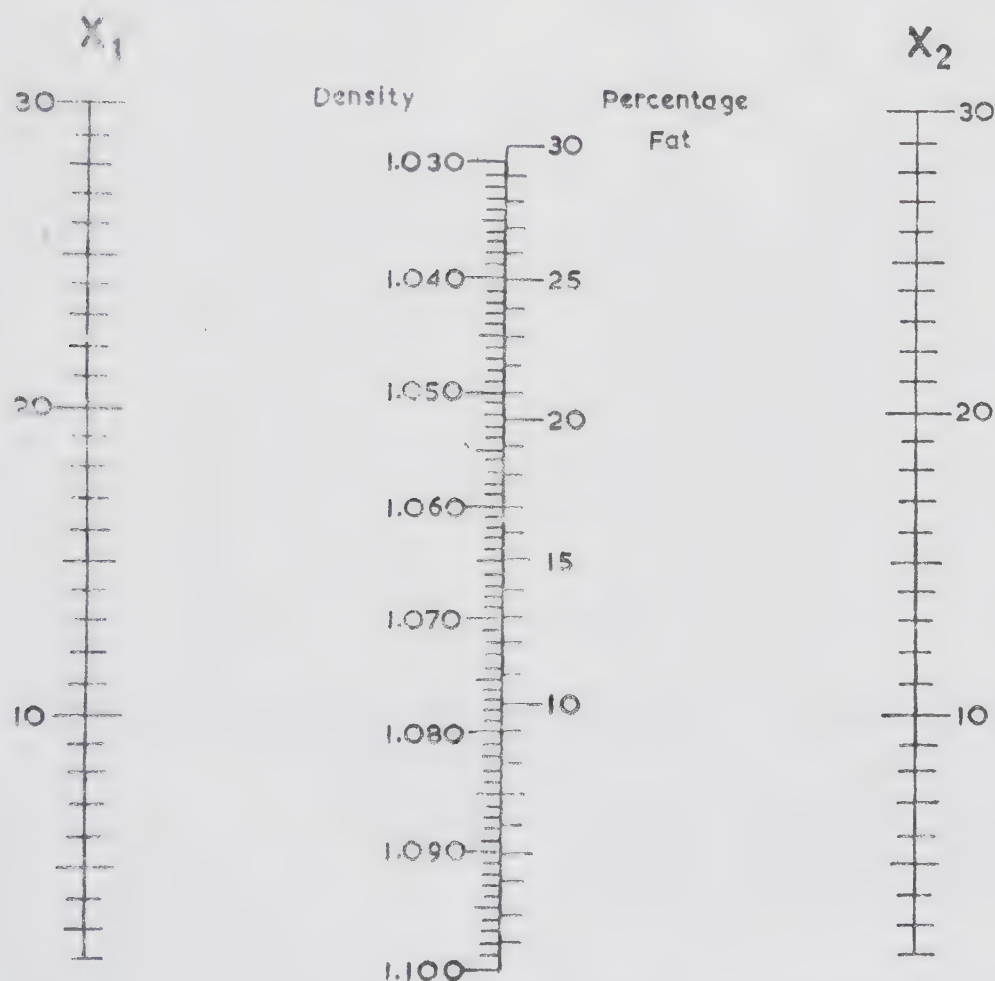
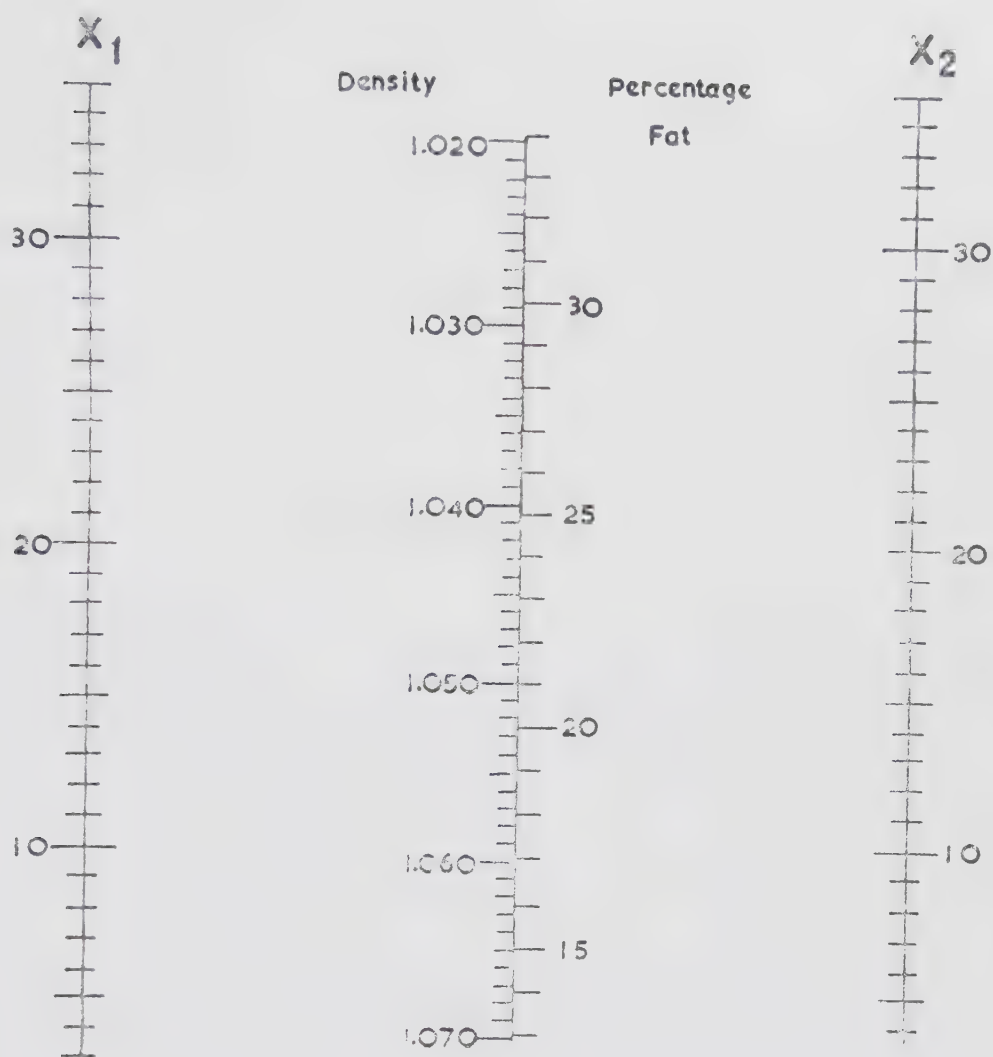


FIG. 1. Young men. X_1 = thigh skinfold thickness (mm) and X_2 = subscapular skinfold thickness (mm).

Jeunes gens : X_1 : pli cutané de la cuisse en millimètres
 X_2 : pli cutané sous-scapulaire en millimètres
Au centre : échelle des masses volumiques (partie gauche) et du % des graisses (à droite).



Jeunes filles : X₁ : pli suprailiaque en millimètres
 X₂ : pli postérieur du bras en millimètres
 Au centre : échelle des masses volumiques
 (partie gauche) et des % des
 graisses corporelles (à droite).

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE D'UNE POPULATION DE CINQUANTE ELEVES

PROFESSEURS D'EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE

Dans un premier chapitre, nous allons exposer les caractères de la population étudiée.

Puis nous verrons successivement les deux façons choisies de déterminer la masse maigre et la masse "grasse" de la population et les résultats de chacune des méthodes.

Enfin, nous ferons un bref commentaire sur les résultats respectifs des deux méthodes d'étude.

A - POPULATION ETUDIEE :

Nous nous sommes adressés à une population de sujets d'âge voisins ayant les mêmes occupations intellectuelles et physiques ; ce sont tous de futurs professeurs d'Education Physique et Sportive, élèves de la section P₂A de l'Institut Régional de l'Education Physique et Sportive² de CAEN. (Promotion 1969-1970 et promotion 1970-1971)

Les sujets sont tous en bonne santé, régulièrement contrôlés sur le plan de l'aptitude par le Laboratoire de Physiologie de l'U.E.R de Médecine de CAEN. Ils ont commencé à travailler leurs aptitudes physiques depuis un an et six mois en moyenne.

La population étudiée est constituée uniquement de sujets de sexe masculin, au nombre de cinquante. Leurs âges s'échelonnent entre 20 et 26 ans ; l'âge moyen est de 22 ans et 4 mois.

Les tailles s'échelonnent entre 161 centimètres et 192 centimètres, la taille moyenne est de 175 centimètres.

Les poids varient de 56,700 kilogrammes à 90,100 kilogrammes, le poids moyen est de 70,850 kilogrammes.

L'ensemble des caractères de la population est représenté dans le tableau 3.

Tableau n° 3 : CARACTERES DE LA POPULATION ETUDIEE.

SUJETS	AGE	TAILLE (en cm)	POIDS (kg)
n° 1 FRE. F.	22	162	56,700
n° 2 IFF. P.	26	165	58,800
n° 3 MAU. G.	22	161	59,800
n° 4 CRO. N.	23	161	60,800
n° 5 DOD. A.	23	168	61,600
n° 6 BES. J.	24	173	63,000
n° 7 CAD. M.	24	174	63,000
n° 8 FLO. J.	23	176	63,300
n° 9 CHA. A.	22	165	63,800
n° 10 MEN. M.	24	170	64,500
n° 11 DHE. L.	23	167	65,000
n° 12 LET. D.	22	171	65,000
n° 13 DEE. W.	22	175	66,000
n° 14 DON. J.	22	176	66,500
n° 15 BUI. D.	25	173	67,500
n° 16 BER. J.	22	176	67,600
n° 17 CHA. M.	22	179	67,900
n° 18 COL. J.	22	166	67,900
n° 19 HEE. D.	24	170	68,000
n° 20 ENE. A.	22	177	68,200
n° 21 LEB. J.	21	174	68,700
n° 22 MIN. B.	23	168	69,100
n° 23 BLO. A.	23	170	69,500
n° 24 DAI. J.	21	175	70,000
n° 25 DUB.P.	21	165	70,000

Tableau n° 3 : Caractères de la population étudiée (suite)

SUJETS	AGE	TAILLE (cm)	POIDS (kg)
n° 26 MEM. J.	23	183	70,500
n° 27 LEB. P.	20	175	71,000
n° 28 BRO. M.	24	177	71,000
n° 29 FIG. J.	23	171	71,700
n° 30 PRU. G.	22	176	71,900
n° 31 DES. J.	22	175	72,100
n° 32 COM. P.	23	178	73,000
n° 33 MOE. P.	20	185	73,000
n° 34 GUI. D.	21	180	73,800
n° 35 CHI. Y.	21	179	74,700
n° 36 MCN. Y.	22	183	75,200
n° 37 FAU. J.	21	181	76,000
n° 38 SEG. J.	23	186	76,800
n° 39 CHA. J.	23	180	76,900
n° 40 GAU. M.	23	176	77,200
n° 41 BRU. M.	23	173	77,400
n° 42 HAE. J.	22	192	77,400
n° 43 DEC. A.	21	174	77,500
n° 44 GUL. P.	22	180	77,500
n° 45 ANG. P.	23	185	77,800
n° 46 TOU. D.	22	179	78,500
n° 47 BEN. G.	20	184	80,100
n° 48 MEN. J.	22	185	81,900
n° 49 POI. J.	20	177	84,600
n° 50 DUB. J.	22	183	88,100
Moyenne générale 22 ans 4 mois		179	76,850

B - MESURE DU POIDS MAIGRE PAR IMMERSION :

1) L'appareil de mesure :

Nous avons utilisé, au laboratoire de physiologie de l'UER de Médecine de Caen, un volumètre constitué de deux parties principales :

- a) le volumètre proprement dit, appelé "la cuve"
- b) un réservoir, où l'on peut lire le volume déplacé par le sujet

a) la cuve :

La cuve est constituée d'un grand bac en plexi-glass transparent dont la paroi a neuf millimètres d'épaisseur ; la forme en est troconique ; la hauteur totale en son centre est de 135,8 centimètres, le diamètre inférieur est de 56 centimètres, le supérieur de 104 centimètres ; sa capacité totale est de 700 litres environ.

Elle est soutenue par un cadre en bois, rigide, qui supporte une plateforme circulaire sur le pourtour de son extrémité supérieure.

Une échelle, extérieure au cadre de bois, permet d'accéder à cette plateforme. Une échelle intérieure métallique permet au sujet de descendre dans la cuve.

La partie inférieure de la cuve est munie de deux poignées qui permettent au sujet de se maintenir sous la surface de l'eau.

La cuve est alimentée par un chauffe-eau à gros débit , 44 litres/minute, ainsi que par une arrivée d'eau froide, permettant ainsi de régler la température de l'eau dans laquelle le sujet sera immergé.

L'évacuation inférieure de l'eau est assurée par deux canalisations à gros débit qui permettent de vider la cuve, en cas d'urgence, en une vingtaine de secondes (robinets n° 1 et n° 2 sur le schéma).

A 16,5 centimètres du bord supérieur de la cuve, affleure un trop-plein coudé dont la branche verticale s'évase en entonnoir. Ce trop-plein est relié directement au réservoir de mesure. Il ne sert que pour la partie terminale de la mesure.

Un trop-plein supérieur à grand diamètre permet à la grande masse de l'eau déplacée par le sujet immergé de se vider dans le réservoir.

b) le réservoir

C'est un bac parallélépipédique métallique dont la partie inférieure est tronquée. Il mesure 145 centimètres de hauteur, 49,5 centimètres de large, 21 centimètres de profondeur.

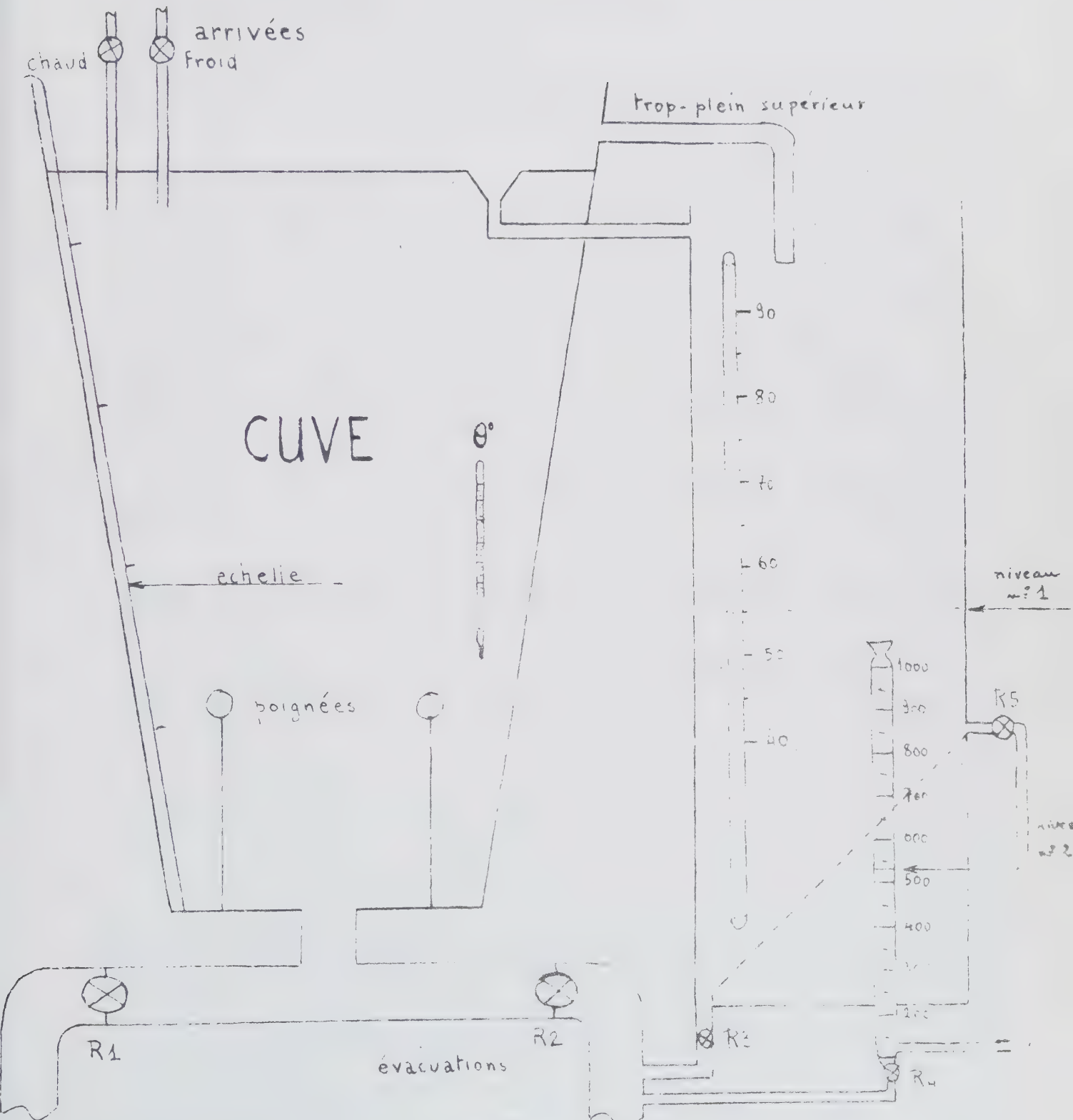
Le côté opposé aux arrivées des trop-plein venant de la cuve est muni de deux tubes gradués en verre. L'extrémité inférieure du tube de gauche plonge dans le réservoir ; ce tube, gradué en litres, permet, par application du principe des vases communicants, de lire le niveau atteint dans les réservoir. (niveau 1 sur le schéma).

Le tube de droite sert à obtenir une mesure plus précise, sa contenance est de 1 000 millilitres ; il communique avec le réservoir grâce à un tuyau métallique muni d'un robinet à la partie supérieure (robinet n° 5) ; l'ouverture de ce robinet permet de ramener le plan inférieur du ménisque du tube de gauche en retard d'un chiffre entier de litres ; la quantité d'eau qui aura remonté dans le tube de droite est donnée en dizaines de millilitres (niveau n° 2 sur le schéma).

Le volume total d'eau déplacé par le sujet est donc la somme des chiffres lus en regard des niveaux n° 1 et n° 2.

Le réservoir s'évacue grâce à une canalisation munie d'un robinet (robinet n° 3) ; le tube gradué en millilitres est vidé grâce au robinet n° 4.

SCHEMA DU VOLUMETRE



2) Protocole d'expérimentation :

Les sujets ont été pesés, nus, le matin à jeûn. Il leur a été recommandé d'évacuer leur intestin et leur vessie avant la mesure. Les sujets ont ensuite pris une douche tiède et ont effectué une toilette soigneuse avec du savon, afin que leurs teguments retiennent le moins possible de bulles d'air lors de l'immersion.

La cuve est préalablement remplie d'eau à 36° C ; le niveau de l'eau affleure le bord supérieur du trop-plein inférieur, le réservoir de mesure est vide ; les robinets n° 3 et n° 5 sont fermés.

Le sujet descend dans la cuve à l'aide de l'échelle intérieure, cette manœuvre doit être effectuée sans précipitation, permettant à la grande masse du volume d'eau déplacé de s'évacuer par le trop-plein supérieur. Dès qu'il a atteint le plancher de la cuve, le sujet fait partir les bulles d'air retenues par son système pileux, puis la tête et le cou toujours hors de l'eau, il laisse évacuer le volume d'eau ainsi déplacé. Après s'être correctement ventilé, il effectue alors une expiration forcée et plonge doucement la tête sous l'eau ; il se maintient alors dans une position légèrement accroupie à l'aide des poignées (voir photographie de l'expérience).

Le volume d'eau correspondant à la tête et au cou s'évacue en une trentaine de secondes par le trop-plein inférieur.

Le sujet peut à tout moment se redresser s'il manque d'air et reprendre l'immersion quand il le désire après une expiration forcée.

Chacun des sujets a effectué au moins deux mesures le volume mesuré le plus bas a toujours été choisi comme étant le plus proche du volume du sujet.

3) Calculs :

Nous avons choisi la formule d'ALLEN (5) pour déterminer la masse des graisses :

$$F = 4,834 V - 4,366 M$$

F : masse des graisses, en kilogrammes

V : volume réel, en litres

M : masse du sujet dans l'air, en kilogrammes.

Le volume réel du sujet, V, est la différence entre le volume mesuré, et la somme du volume résiduel estimé et d'un volume de gaz intestinaux fixe de 100 millilitres (BEDELL et coll. (13).

$$V \text{ réel} = V \text{ mesuré} - (V_R + 100 \text{ ml})$$

Photographie du voltmètre lors d'une mesure :



Le volume résiduel n'a pas été mesuré mais estimé comme dans les travaux d'ALLEN (1) ; il nous est donné par une formule mise au point par CHINN et ALLEN (35), où le volume résiduel est une fonction de l'âge et de la masse du sujet ; cette formule est établie à partir de la mesure réelle du volume résiduel de trente-cinq sujets de sexe masculin, en bonne santé, plongés dans l'eau jusqu'au cou lors de la mesure.

$$V_R = (0,0144 \times M) + (0,0118 \times A) - 0,225$$

où : V_R = volume résiduel, en litres
 M = masse du sujet, en kilogrammes
 A = âge du sujet en années

La masse maigre, L , sera la différence entre la masse totale (M) et la masse de graisse (F) :

$$L = M - F$$

4) Résultats :

Tableau n° 4 : poids, volumes, graisses (kilogrammes) et masses volumiques.

Tableau n° 5 : masses volumiques, poids et pourcentages des graisses et de la masse maigre par rapport au poids total

Tableau n° 4 : poids, volumes, masses de graisses, masses volumiques de 50 sujets.

S U J E T S	POIDS (kg)	VOLUME MESURE (litre)	VOLUME REEL (litre)	GRAISSES CORPORELLES (kg)	MASSE VOLUMIQUE g/ml à 36°C
1	56,700	53,00	52,049	4,050	1,0893
2	58,800	55,320	54,290	5,700	1,0831
3	59,800	55,700	54,715	3,400	1,0929
4	60,800	58,000	56,978	10,000	1,0670
5	61,600	57,980	56,947	6,350	1,0817
6	63,000	58,920	57,855	4,600	1,0889
7	63,000	59,000	57,935	5,000	1,0874
8	63,300	59,210	58,151	4,750	1,0885
9	63,800	60,560	59,507	9,100	1,0721
10	64,500	60,550	59,464	5,850	1,0847
11	65,000	60,825	59,743	5,000	1,0880
12	65,000	61,730	60,660	9,450	1,0715
13	66,000	62,000	60,925	6,300	1,0835
14	66,500	61,915	60,825	3,700	1,0933
15	67,500	64,600	63,458	12,050	1,0637
16	67,600	64,880	63,772	13,150	1,0600
17	67,900	63,000	61,888	2,700	1,0971
18	67,900	64,000	62,888	7,550	1,0796
19	68,000	64,460	63,323	9,200	1,0738
20	68,200	64,350	63,324	7,900	1,0785
21	68,700	64,960	63,846	8,700	1,0760
22	69,100	65,000	63,859	7,000	1,0821
23	69,500	65,950	64,804	9,800	1,0725
24	70,000	66,000	64,870	7,950	1,0791
25	70,000	66,210	65,968	8,450	1,0774

Tableau n° 4 (suite)

S U J E T S	POIDS	VOLUME MESURE	VOLUME REEL	GRAISSES CORPORELLES	MASSE VOLUMIQUE
26	70,300	66,260	65,102	7,800	1,0798
27	71,000	67,000	65,867	8,400	1,0779
28	71,000	67,610	66,429	11,150	1,0688
29	71,000	67,680	66,466	8,250	1,0787
30	71,900	69,020	67,850	14,050	1,0597
31	72,100	69,770	68,600	16,800	1,0510
32	73,000	69,830	68,633	13,050	1,0636
33	73,700	69,710	68,538	9,500	1,0753
34	73,800	69,250	68,065	6,800	1,0842
35	74,700	71,000	69,800	11,300	1,0702
36	75,800	71,620	70,394	9,350	1,0767
37	76,000	71,860	70,643	9,650	1,0758
38	76,600	71,435	70,185	4,850	1,0914
39	76,900	72,390	71,137	8,150	1,0810
40	77,200	73,475	72,217	12,050	1,0690
41	77,400	71,770	70,509	2,950	1,0977
42	77,400	71,850	70,600	3,350	1,0963
43	77,500	73,910	72,672	13,000	1,0664
44	77,500	74,000	72,750	13,300	1,0653
45	77,800	73,000	71,794	7,400	1,0836
46	79,500	75,960	74,680	13,900	1,0645
47	80,100	76,000	74,712	11,450	1,0721
48	82,900	77,950	76,613	8,400	1,0821
49	84,600	81,630	80,300	18,700	1,0538
50	90,100	85,600	84,169	13,500	1,0705
MOY.	70,850	66,952	65,813	8,700	1,0773

Tableau n° 5 : masses volumiques, poids et pourcentages des graisses et des masses maigres

S U J E T S	MASSES VOLUMIQUES (g/ml à 36°C)	GRAISSES (kg)	% DES GRAISSES	MASSES MAIGRES (kg)	% MASSES MAIGRES
1	1,0893	4,050	7,1	52,650	92,9
2	1,0831	5,700	9,7	53,100	90,3
3	1,0929	3,400	5,7	56,400	94,3
4	1,0670	10,000	16,4	50,800	83,6
5	1,0817	6,350	10,3	55,250	89,7
6	1,0889	4,600	7,3	58,400	92,7
7	1,0874	5,000	7,9	58,000	92,1
8	1,0885	4,750	7,5	58,550	92,5
9	1,0721	9,100	14,2	54,700	85,8
10	1,0847	5,850	9,0	58,650	91,0
11	1,0880	5,000	7,7	60,000	92,3
12	1,0715	9,450	14,5	55,550	85,5
13	1,0835	6,300	9,5	59,600	90,5
14	1,0933	3,700	5,5	62,800	94,5
15	1,0637	12,050	17,8	55,450	82,2
16	1,0600	13,150	19,4	54,450	80,6
17	1,0971	2,700	4,0	65,200	96,0
18	1,0796	7,550	11,1	60,350	83,9
19	1,0738	9,200	13,5	58,800	86,5
20	1,0785	7,900	11,6	60,300	88,4
21	1,0760	8,700	12,6	60,000	87,4
22	1,0821	7,000	10,1	62,100	89,9
23	1,0725	9,800	14,1	59,700	85,9
24	1,0791	7,950	11,3	62,250	88,7
25	1,0774	8,450	12,0	61,550	88,0

Tableau n° 5 (suite)

	MASSES VOLUMIQUES	GRAISSES (kg)	GRAISSES %	MASSES MAIGRES	% MASSES MAIGRES
26	1,0798	7,800	11,0	62,500	89,0
27	1,779	8,400	11,8	62,600	88,2
28	1,0688	11,150	15,7	59,850	84,3
29	1,0787	8,250	11,5	63,450	88,5
30	1,0597	14,050	19,5	57,850	80,5
31	1,0510	16,800	23,3	55,300	76,7
32	1,0636	13,050	17,9	59,950	82,1
33	1,0753	9,500	12,9	64,200	87,1
34	1,0842	6,800	9,2	67,000	90,8
35	1,0702	11,300	15,1	63,400	84,9
36	1,0767	9,350	12,3	66,450	87,7
37	1,0758	9,650	12,7	66,350	87,3
38	1,0914	4,850	6,3	71,750	93,7
39	1,0810	8,150	10,6	68,750	89,4
40	1,0690	12,050	15,6	65,150	84,4
41	1,0977	2,950	3,8	74,450	96,2
42	1,0963	3,350	4,3	74,050	95,7
43	1,0664	13,000	16,7	64,500	83,3
44	1,0653	13,300	17,1	64,200	82,9
45	1,0836	7,400	9,5	70,400	90,5
46	1,0645	13,900	17,5	65,600	82,5
47	1,0721	11,450	14,3	68,650	85,7
48	1,0821	8,400	10,1	74,500	89,9
49	1,0538	18,700	22,1	65,900	77,9
50	1,0705	13,500	15,0	76,600	85,0
MOY.	1,0773	8,700	12,11	62,150	87,89

La population étudiée, de poids moyen égal à 70,850 kilogrammes (de 56,700 kg pour le sujet n° 1 à 90,100 kg (n° 50) à un volume mesuré de 65,952 litres (53,000 l (n° 1) à 85,600 l (n° 50) et un volume réel moyen de 65,813 l (52,049 (n° 1) à 84,169 l (N° 50)).

La quantité de graisses moyenne est de 8,700 kg (2,700 kg (n°17) à 18,700 kg (n° 49) ; en pourcentage du poids total du corps, le chiffre moyen trouvé est de 12,11 % (limites : 3,8 % pour le n° 41 à 23,3 % (sujet n° 31) et présente un écart type de 4,50 %.

Le poids maigre moyen est de 62,150 kg (50,800 kg (sujet n° 4) à 76,600 kg (sujet n° 50) et représente un pourcentage moyen par rapport au poids total du corps de 87,89 % (76,7 % (n°31) et 96,2 % (n° 41)).

Les masses volumiques, à 36° C, s'échelonnent entre 1,0510 g/ml pour le sujet le plus gras (N° 31) et 1,0973 g/ml pour le sujet le plus maigre (n°41); la masse volumique moyenne est de 1,0773 g/ml.

Nous pouvons noter, dès à présent, que cinq sujets sur les cinquante qui ont subi l'épreuve, ont eu des difficultés à faire, lors des mesures, une expiration forcée ; il s'agit des sujets n° 15,16, 30, 31, 32. Il en résulte que leur pourcentage de graisses corporelles est sûrement altéré dans le sens d'une augmentation (ce qui correspond à une diminuation de la masse maigre et de la masse volumique).

Nous avons comparé les résultats obtenus avec ceux de quelques auteurs ayant expérimenté des populations voisines de la nôtre par l'âge moyen, ALLEN et coll. (5) trouvent un pourcentage de graisses moyen de 19,9 % chez soixante sujets âgés de 17 à 25 ans ; KRZYWICKI et CHINN (71) trouvent un pourcentage de 16,6 % pour 19 sujets âgés de 20 à 24 ans, SLOAN A.W. (114), trouve un pourcentage moyen de 10,8 % chez 50 sujets âgés de 18 à 26 ans. Ces auteurs utilisaient tous les techniques d'immersion ; ALLEN (5) et KRZYWICKI (71) utilisaient la formule d'ALLEN dont nous nous sommes servis pour déterminer le pourcentage des graisses ; SLOAN (114) utilisait la formule de BROZEK (34) dont nous pouvons voir le tableau n° 2 qu'elle donne des pourcentages de graisses inférieurs à ceux de la formule d'ALLEN (5) (à masses volumiques égales).Toujours en utilisant des méthodes d'immersion (pesée dans l'eau) et la formule de BROZEK (34), WILMORE et BEHNKE (135) ont trouvé un pourcentage moyen de graisses de 14,69 % chez une population de 133 sujets d'âge moyen égal à 22 ans.

Notre population étant exclusivement ^{composée} de sujets sportifs, il nous semble normal que son pourcentage moyen de graisses soit inférieur à celui des populations étudiées par les auteurs précédents. Les sujets étudiés par ALLEN (5) et KRZYWICKI (71) étaient des militaires, ceux étudiés par SLOAN (114) et WILMORE - BEHNKE (135) des étu-

dians (en médecine ou en sciences). Même la population présentée par SLOAN (124), dont le pourcentage de graisses est de 10,8 % avec la formule de BROZEK (34), aurait un pourcentage supérieur à la nôtre, si on reportait la masse volumique moyenne de ses sujets (1,0754 g/ml) dans la formule d'ALLEN ; ce pourcentage deviendrait alors de 12,9 %.

Si nous comparons nos résultats, ainsi que ceux des auteurs ayant déterminé la masse volumique par les méthodes d'immersion, à ceux des auteurs qui ont utilisé les méthodes anthropométriques (plis cutanés notamment) nous constatons que ces derniers sont toujours inférieurs en ce qui concerne les pourcentages de graisses. En particulier, nous notons que le BIDEAU (74) trouve un pourcentage moyen de 8,0 % bien que la population qu'il étudie soit constituée de 130 élèves professeurs d'Education Physique et Sportive d'âge moyen compris entre 20 et 25 ans, dont identique à la nôtre.

C - Détermination de la masse grasse à l'aide d'un nomogramme

1) Construction du nomogramme

Nous avons construit un nomogramme qui permet de déterminer le pourcentage de graisses d'un sujet et sa masse volumique à 36° C en fonction de sa taille exprimée en centimètres et de son poids exprimé en kilogrammes.

Ce nomogramme est un abaque à points alignés qui représente la relation entre trois variables : la taille, le poids et la masse volumique. Cette relation nous est donnée par l'équation de COWGILL (39) où la densité relative du corps est une fonction de la taille (H) et du poids (M) du sujet :

$$d = 0,22 \frac{H^{0,725}}{M^{0,3}} + 0,75$$

Nous avons modifié cette formule pour avoir la masse volumique à 36° C, D_T , en la multipliant par la densité de l'eau à 36° C ; en effet, la densité relative d , a pour valeur :

$$d = \frac{D_T}{D_{H2O}}, \quad D_T \text{ et } D_{H2O} \text{ étant mesurés à } 36^\circ \text{ C}$$

De cette relation nous pouvons tirer la masse volumique D_T à 36° C (g/ml).

$$D_T = d \times D_{H2O}$$

La masse volumique de l'eau à 36° C étant de 0,994 g/ml nous pouvons donc écrire la relation unissant la masse volumique du corps à la taille (H, en centimètres) et au poids (M, en grammes) :

$$D_T = 0,994 \left(0,22 \frac{H^{0,725}}{M^{0,3}} + 0,75 \right)$$

Pour que cette relation puisse être représentée par un abaque, à points alignés, il faut qu'elle puisse se mettre sous la forme :

$$a (H) \varphi (D_T) + b (M) \psi (D_T) + \Theta (D_T) = 0$$

Nous pouvons mettre la relation de D_T sous la forme

$$\frac{\frac{D_T}{0,994} - 0,75}{0,22} = \frac{H^{0,725}}{M^{0,3}}$$

ou encore en prenant le logarithme :

$$\log \left(\frac{\frac{D_T}{0,994} - 0,75}{0,22} \right) + 0,3 \log M - 0,725 \log H = 0$$

Nous posons alors :

$$\begin{aligned} a (H) &= - 0,725 \lg H \\ \varphi (D_T) &= 1 \\ b (M) &= 0,3 \lg M \\ \psi (D_T) &= 1 \\ \Theta (D_T) &= \log \frac{\frac{D_T}{0,994} - 0,75}{0,22} \end{aligned}$$

Un abaque à points alignés peut donc être construit, l'échelle des masses volumiques sera parallèle aux échelles des poids et des tailles, à égale distance entre elles.

Pour compléter le monogramme nous avons introduit le pourcentage des graisses corporelles donné par la formule d'ALLEN (5) en fonction de la masse volumique.

$$GC (\%) = \left(\frac{4,834}{D_T} - 4,366 \right) \times 100$$

2° Présentation du monogramme :

TAILLE

(en cm)

POIDS

(en kg)

Masse Volumique D_r
Graisses Corporelles (en % du poids)

$$GC(\%) = \left(\frac{4,834}{D_r} - 4,366 \right) \cdot 100$$

$$D_r = 0,994 \left[0,22 \frac{H^{0,815}}{M^{0,71}} + 0,75 \right]$$

3° Utilisation du nomogramme :

L'échelle de droite représente les poids en kilogrammes, descendante de 45 à 115 kilogrammes.

L'échelle de gauche représente les tailles en centimètres, ascendantes de 140 à 210 centimètres.

L'échelle centrale est double : - à gauche figurent les masses volumiques selon une échelle ascendante de 1,000 g/ml à 1,180 g/ml

- à droite figurent les pourcentages de graisses corporelles selon une progression descendante de 0 % à 40 %, le chiffre 0 % correspond à une masse volumique de 1,014 g/ml.

Pour connaître la masse volumique et le pourcentage de graisses d'un sujet, il suffit de joindre le chiffre de sa taille à celui de son poids à l'aide d'une règle transparente parfaitement rectiligne ; l'intersection de cette règle avec l'échelle centrale nous donne directement la masse volumique et le pourcentage de graisses du sujet .

La lecture du nomogramme est facile et des sujets non "initiés" peuvent indiquer les masses volumiques pratiquement sans erreur, et les pourcentages avec des variations qui ne dépassent pas 0,5 %.

4° Etude de la population, déjà étudiée par la méthode d'immersion, à l'aide du nomogrammes :

nous avons calculé les masses volumiques des 50 sujets ainsi que leurs pourcentages de graisses d'une part à l'aide du nomogramme, et d'autre part en faisant directement les calculs, à l'aide des relations introduites dans le nomogramme à partir de leurs tailles et de leurs poids. Ce sont ces résultats que nous présentons dans le tableau n° 6.

Tableau n° 6 : tailles, poids, masses volumiques calculées et lues, pourcentages de graisses calculées et lues sur l'abaque.

N°	TAILLE (cm)	POIDS (kg)	D_T CALCULEE (g/ml)	D_T LUE (g/ml)	% GC CALCULES	% GC LUS
1	162	56,700	1,0733	1,073	13,78	13,7
2	165	58,800	1,0740	1,074	13,47	13,5
3	161	59,800	1,0657	1,066	17,00	17,0
4	161	60,800	1,0651	1,065	17,25	17,3
5	168	61,600	1,0738	1,074	13,57	13,6
6	173	63,000	1,0786	1,079	11,57	11,6
7	174	63,000	1,0800	1,080	10,99	11,0
8	176	63,300	1,0823	1,082	10,04	10,1
9	165	63,800	1,0661	1,066	16,83	16,8
10	170	64,500	1,0721	1,072	14,29	14,3
11	167	65,000	1,0672	1,067	16,36	16,5
12	171	65,000	1,0727	1,072	14,04	14,3
13	175	66,000	1,0767	1,076	12,36	12,5
14	176	66,500	1,0773	1,077	12,11	12,1
15	173	67,500	1,0718	1,071	14,42	14,4
16	176	67,600	1,0757	1,075	12,78	13,0
17	179	67,900	1,0793	1,079	11,28	11,2
18	166	67,900	1,0616	1,061	18,75	18,8
19	170	68,000	1,0669	1,066	16,49	16,6
20	177	68,200	1,0762	1,076	12,57	12,6
21	174	68,700	1,0714	1,071	14,58	14,7
22	168	69,100	1,0627	1,062	18,28	18,4
23	170	69,500	1,0648	1,064	17,38	17,5
24	175	70,000	1,0709	1,070	14,80	15,0
25	165	70,000	1,0573	1,057	20,50	20,6

Tableau n° 6 (suite)

N°	TAILLE	POIDS	D _T CALCULEE	D _T LUE	GC % CALCULES	GC % LUS
26	183	70,300	1,0812	1,081	10,49	10,6
27	175	71,000	1,0696	1,069	15,34	15,5
28	177	71,000	1,0722	1,072	14,25	14,4
29	171	71,700	1,0632	1,063	18,06	18,2
30	176	71,900	1,0697	1,069	15,30	15,5
31	175	72,100	1,0681	1,068	15,98	16,0
32	178	73,000	1,0708	1,070	14,84	15,0
33	185	73,000	1,0791	1,079	11,36	11,4
34	180	73,800	1,0724	1,072	14,16	14,2
35	179	74,700	1,0699	1,070	15,22	15,2
36	183	75,800	1,0737	1,073	13,62	13,8
37	181	76,000	1,0700	1,070	15,17	15,1
38	186	76,600	1,0766	1,076	12,41	12,4
39	180	76,900	1,0684	1,068	15,85	16,0
40	176	77,200	1,0628	1,062	18,24	18,3
41	173	77,400	1,0586	1,058	20,04	20,0
42	192	77,400	1,0832	1,083	9,67	10,0
43	174	77,500	1,0598	1,060	19,52	19,6
44	180	77,503	1,0677	1,067	16,15	16,5
45	185	77,800	1,0737	1,074	13,62	13,8
46	179	79,500	1,0639	1,064	17,77	18,0
47	184	80,100	1,0696	1,069	15,34	15,5
48	185	82,900	1,0675	1,067	16,23	16,3
49	177	84,600	1,0555	1,055	21,38	21,5
50	185	90,100	1,0596	1,059	19,61	19,7
MOY.	175	70,850	1,0702	1,0698	15,10	15,13

Ces résultats nous montrent la remarquable concordance entre les masses volumiques "mathématiques" et les masses volumiques lues sur l'abaque ; en ce qui concerne les pourcentages de graisses nous avons parfois une légère augmentation du pourcentage lu par rapport au pourcentage calculé ; mais cette différence n'excède jamais 0,4 % de graisses.

La masse volumique moyenne calculée est de 1,0702 g/ml (limites 1,0555 g/ml pour le sujet n° 49, à 1,0832 g/ml pour le sujet n° 42) ce qui correspond à un pourcentage moyen calculé de graisses de 15,10 % (limites : 9,67 % (n° 42) à 21,38 % (n° 49)).

La masse volumique moyenne lue est de 1,0698 g/ml (limites : 1,055 g/ml (n° 49) à 1,083 g/ml (n° 42)), ce qui correspond à un pourcentage moyen lu de graisses de 15,13 % (limites 10,0 % (n° 42) à 21,5 % (n° 49)) dont l'écart-type est de 2,8 %.

D - ETUDE COMPARATIVE DE LA POPULATION PAR LES DEUX METHODES
(IMMERSION ET NOMOGRAMME).

Le nomogramme étant construit à l'aide d'une relation donnant la masse volumique, il était peu probable de voir une concordance parfaite entre les chiffres prévus et les chiffres donnés par les mesures dans le volumètre ; en effet, la relation établie par COWGILL devait prédire la masse volumique moyenne pour une population moyenne sans tenir compte des cas particuliers ; notre population étant spécialisée par ses activités physiques, devait donc montrer une masse volumique moyenne mesurée plus forte que la masse volumique prévue et par conséquent, un pourcentage de graisses inférieur.

Effectivement, le pourcentage moyen de graisses corporelles, déterminé par la méthode volumétrique, est des 12,1 % (écart-type : 4,50 %) alors que le pourcentage prévu par le nomogramme est de 15,1 % (écart-type : 2,8 %) ; les masses volumiques moyennes correspondantes sont de 1,0773 g/ml et de 1,0698 g/ml.

Toutefois nous avons voulu comparer les résultats individuels donnés par chacune des deux méthodes. Ce sont ces résultats que nous donnons dans le tableau n° 7.

Puis, nous avons fait l'étude statistique des données et établi un diagramme de dispersion, point par point, portant en abscisse les pourcentages de graisses mesurés par le volumètre et en ordonnée les pourcentages de graisses lus sur le nomogramme.

Nous avons ensuite établi les droites de régression de ce diagramme. Ces droites ont pour équation, pour une population de cinquante sujets (N = 50)

$$x = 0,670 y + 2,0$$

$$y = 0,259 x + 12,0$$

où x représente le pourcentage de graisses mesuré et y le pourcentage de graisses donné par le nomogramme.

Tableau n° 7 : masses volumiques mesurées et lues (g/ml), % des graisses mesurés et lus.

N°	MASSE VOLUMIQUE (abaque) g/ml	MASSE VOLUMIQUE mesurée g/ml	% GC ABAQUE	% GC MESURE
1	1,073	1,0893	13,7	7,1
2	1,074	1,0831	13,5	9,7
3	1,066	1,0929	17,0	5,7
4	1,065	1,0670	17,3	16,4
5	1,074	1,0817	13,6	10,3
6	1,079	1,0889	11,6	7,3
7	1,080	1,0874	11,0	7,9
8	1,082	1,0885	10,1	7,5
9	1,066	1,0721	16,8	14,2
10	1,072	1,0847	14,3	9,0
11	1,067	1,0880	16,5	7,7
12	1,072	1,0715	14,3	14,5
13	1,076	1,0835	12,5	9,5
14	1,077	1,0933	12,1	5,5
15	1,071	1,0637	14,5	17,8
16	1,075	1,0600	13,0	19,4
17	1,079	1,0971	11,2	4,0
18	1,061	1,0796	18,8	11,1
19	1,066	1,0738	16,6	13,5
20	1,076	1,0785	12,6	11,6
21	1,071	1,0760	14,7	12,6
22	1,052	1,0821	18,4	10,1
23	1,064	1,0725	17,5	14,1
24	1,070	1,0791	15,0	11,3
25	1,057	1,0774	20,6	12,0

Tableau n° 7 (suite)

N°	M.V. ABAQUE	M.V. MESUREE	% GC ABAQUE	% GC MESURE
26	1,081	1,0798	10,6	11,0
27	1,069	1,0779	15,5	11,8
28	1,072	1,0688	14,4	15,7
29	1,063	1,0787	18,2	11,5
30	1,069	1,0597	15,5	19,5
31	1,068	1,0510	16,0	23,3
32	1,070	1,0636	15,0	17,9
33	1,079	1,0753	11,4	12,9
34	1,072	1,0842	14,2	9,2
35	1,070	1,0702	15,2	15,1
36	1,073	1,0767	13,8	12,3
37	1,070	1,0758	15,1	12,7
38	1,076	1,0914	12,4	6,3
39	1,068	1,0810	16,0	10,6
40	1,062	1,0690	18,3	15,6
41	1,058	1,0977	20,0	3,8
42	1,083	1,0963	10,0	4,3
43	1,060	1,0664	19,6	16,7
44	1,067	1,0653	16,5	17,1
45	1,074	1,0836	13,8	9,5
46	1,064	1,0645	13,8	9,5
47	1,069	1,0721	15,5	14,3
48	1,067	1,0821	16,3	10,1
49	1,055	1,0538	21,5	22,1
50	1,059	1,0708	19,7	15,0
MOY.	1,0698	1,0773	15,13	12,11

25 26 (10/11)

20

21

22

23

24

25

$\lambda = 0.1$

$\lambda = 0.5$

$y = 0.5x + 0.2$

$y = 0.5x + 0.2$

LES PAPIERS CANSON - FRANCE

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

07

08

09

Si nous consultons le tableau n° 7 nous constatons que les cinq sujets qui avaient eu des difficultés à se maintenir en expiration forcée ont des taux de graisses supérieurs aux taux prévus par le nomogramme.

Nous constatons de même que sept sujets présentent de grosses différences entre le pourcentage mesuré, qui est faible, et le pourcentage prévu qui est élevé; ces sept sujets sont les n° 3, 11, 18, 22, 25, 29, 41.

Ces élèves professeurs ont déjà acquis une spécialisation sportive importante dont voici le détail :

- sujet n° 3 : gymnaste et joueur de rugby
- sujet n° 11 : sports de combat, pratique de la musculation
- sujet n° 18 : gymnaste et joueur de football
- sujet n° 22 : sports de combat
- sujet n° 25 : sports de combat
- sujet n° 29 : gymnaste, joueur de football, pratique la musculation
- sujet n° 41 : athlète lanceur, musculation intensive avec des haltères.

Ces étudiants présentent un poids élevé par rapport, à leur taille, le nomogramme leur prévoit donc une masse volumique relativement faible et un pourcentage de graisses élevé ; la mesure démontre au contraire, que les kilogrammes supplémentaires sont essentiellement constitués par des muscles très développés, ce que leur morphotype laisse deviner du premier coup d'oeil. Malgré ces sept sujets, très spécialisés et les cinq sujets dont la mesure volumétrique est douteuse, le coefficient de corrélation entre les deux méthodes est de $r = 0,416$, ce qui est significatif à la probabilité $P = 0,01$.

Nous avons repris le diagramme de dispersion et les courbes de régression pour trente huit-sujets, donc après élimination de cinq sujets dont la mesure est douteuse et les sept sujets trop spécialisés.

Les nouveaux pourcentages moyens de graisses, mesurés et lus sur l'abaque deviennent alors :

GC (%) mesurés : 11,7 % du poids total du corps
GC (%) lus sur l'abaque : 14,5 % du poids total

Différence en % de graisses corporelles : 2,8 % du poids total.

Les droites de régression deviennent alors :

$$\begin{aligned}x' &= 1,162 y' - 5,181 \\y' &= 0,609 x' + 7,415\end{aligned}$$

Tableau n° 8 : Récapitulatif des pourcentages de graisses et de masse maigre pour N = 50 et N = 38

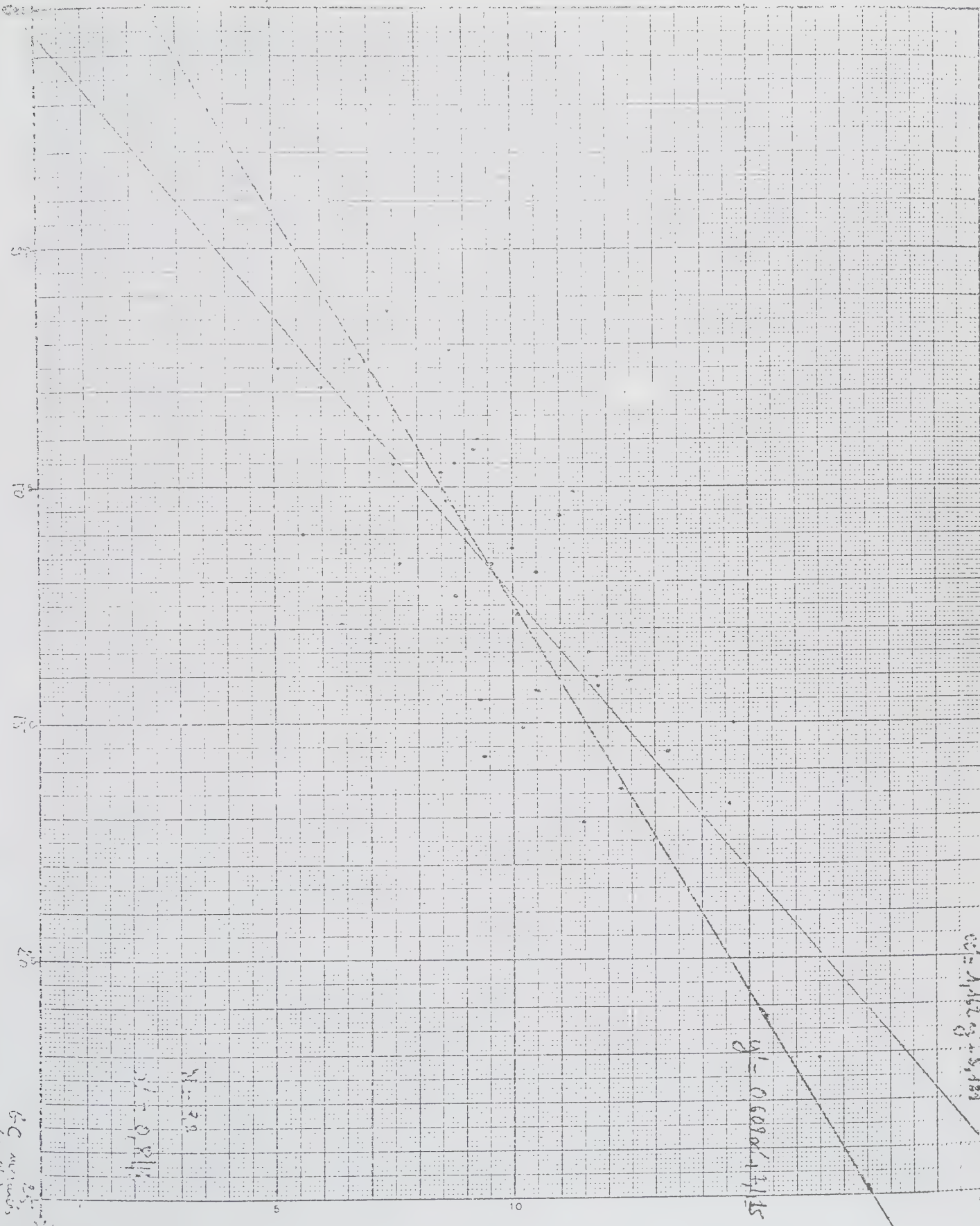
Nombre de Sujets	G. Corporel : les mesurées (%)	G. Corporel : les abaque (%)	M. maigre : mesurée (%)	M. maigre : abaque (%)	Coefficients de Corrélation
N = 50	12,1	15,1	87,9	84,9	$r = 0,416$
N = 38	11,7	14,5	88,3	85,5	$r' = 0,841$

Nous constatons donc qu'il y a une différence de 2,8 % entre le pourcentage de graisses corporelles lu sur l'abaque et le pourcentage mesuré. Cette différence nous a amené à reprendre l'étude statistique des résultats ; le nouveau coefficient de corrélation, r' , est de 0,841 ce qui nous permet de penser que l'abaque peut être proposé comme moyen d'étude valable de la masse grasse corporelle.

L'erreur introduite par l'utilisation exclusive du nomogramme est 23,9 % par rapport à la masse grasse par le volumètre ; ceci correspond à une erreur de 3,1 % sur l'évolution de la masse maigre

6.6
(m/s)
angle

1.5



6.6 = 1.162 g + 5.183

$y' = 0.608x + 1.15$

N = 20

1.1 = 0.811

6.6 m/s
(m/s)

C O N C L U S I O N

Dans la première partie de ce travail, nous avons passé en revue les méthodes élaborées pour mesurer les graisses corporelles. Ces méthodes sont nombreuses et souvent discutées. Cette multiplicité est une indication des difficultés rencontrées, mais aussi un signe de l'intérêt de cette mesure. En effet, l'appréciation de la masse corporelle maigre, conduit à celle de la masse active. Et l'on sait tout l'intérêt que présenterait une méthode de mesure, simple, cliniquement utilisable ; il serait alors possible d'évaluer l'effet des déviations endocriniennes sur l'équilibre énergétique des malades. Nos recherches, qui sont loin d'être exhaustives, nous ont cependant bien montré toute la complexité de des méthodes expérimentales.

Dans la seconde partie, de ce travail, nous décrivons tout d'abord la méthode utilisée. Nous avons choisi la méthode par immersion, qui comprend deux techniques :

- la technique par pesée
- la technique volumétrique

Après avoir expérimenté les deux procédés, nous avons préféré la seconde, qui nous a paru, compte tenu des appareillages dont nous disposions, plus sûre et aussi d'un maniement moins délicat.

Ensuite, nous indiquons les résultats qui ont été obtenus en appliquant cette méthode de la mesure des graisses corporelles, à une population relativement homogène : 50 étudiants masculins volontaires, en bonne santé appartenant à l'UER d'Education Physique et Sportive de l'Université de Caen.

Si on calcule une moyenne des résultats publiés par les différents auteurs qui ont utilisé la même méthode, on obtient pour une population d'étudiants sans qualification particulière un pourcentage de 15,5 % pour la masse lipidique. Remarquons qu'il s'agit de sujets du même âge, ayant une certaine activité physique, mais non spécialisés comme le sont les étudiants de l'UER EPS avec lesquels nous avons travaillé.

Nos mesures nous ont donné des valeurs plus faibles. Sur les 50 sujets examinés, nous n'avons obtenu qu'une valeur moyenne de 12,11 %. Ce qui signifierait que la pratique régulière de l'activité physique aurait tendance à diminuer la masse lipidique totale. Une étude critique nous a conduit à éliminer douze résultats ; sept d'entre eux concernant des athlètes, pratiquant de manière intense des sports de musculation et chez lesquels le pourcentage de graisses est très

faible. Cinq résultats peuvent également être écartés, les conditions de mesures ne pouvant être considérées comme entièrement valables. Nous avons été conduits à accepter le chiffre de 11,7 % pour 38 sujets.

Conscients tout à la fois de l'intérêt de la méthode et des difficultés techniques qu'elle comporte, nous avons cherché à construire un nomogramme permettant de calculer facilement les graisses corporelles et par conséquent, la masse maigre des sujets. Nous avons choisi deux paramètres simples, faciles à mesurer : la taille et le poids.

L'étude statistique des résultats obtenus en comparant chez nos 50 sujets les valeurs données par l'abaque avec celles qu'avait fournies l'expérimentation, nous a donné un coefficient de corrélation de $= 0,416$. En éliminant les cinq sujets dont les mesures volumétriques étaient douteuses et les sept sujets spécialisés, les équations de régression deviennent (pour un nombre de sujets $= 38$) :

$$\begin{aligned}x' &= 1,162 y' - 5,181 \\y' &= 0,609 x' + 7,415\end{aligned}$$

où x' représente le pourcentage des graisses mesuré et y' le pourcentage prévu par le nomogramme. Le coefficient de corrélation devient alors :

$$r' = 0,841$$

ce qui traduit entre les deux méthodes une concordance beaucoup plus acceptable.

Donc, cette étude nous permet, en ayant utilisé une des méthodes expérimentales qui nous étaient apparues pouvoir être considérées comme fiables de constater que la masse des graisses corporelles chez une population de sportifs, se situe à un niveau inférieur aux valeurs admises pour le sujet normal. Il semble donc que l'activité physique et sportive lorsqu'elle est bien conduite, a pour conséquence de diminuer le pourcentage des graisses par rapport au poids total.

Sans doute cette constatation appelle-t-elle des confirmations et pourrait être l'objet d'autres recherches, pour préciser, par exemple, quel sport est le plus actif. C'est pour rendre ces recherches plus accessibles et ne plus les limiter au domaine du laboratoire spécialisé, que nous avons proposé un abaque d'un emploi facile.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 ALLEN T H
Measurement of human body fat : a quantitative method suited for use by aviation medical officers.
Aerospace Med. 1963, 34, 907.
- 2 ALLEN, T. H., KRZYWICKI, H. J., and ROBERTS, J.E. :
Density fat, water and solids in freshly isolated tissues.
J. Appl. Physiol. 1959, 14, 1005.
- 3 ALLEN, T. H., WELCH, B.E., TRUJILLO, T.T., and ROBERTS, J.E. :
Fat, water and tissue solids of the whole body less its bone mineral.
J. Applied Physiol . 1959, 14, 1009.
- 4 ALLEN, T. H., ANDERSON, E.C., and LANGHAM, W. H. :
Total body potassium and gross body composition.
J. Gerontol. 1960, 15, 348.
- 5 ALLEN, T H., KRZYWICKI, H. J., WORTH, W. S., and NIMS, R. M. :
Report on human body volumeter based on water displacement.
USAMRNL Rept. n°250, September 1960.
- 6 ALSMEYER, R. H. HINER, R. L., and THORNTON, J. W. :
Ultrasonic measurements of fat and muscle thickness of cattle and swine.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 23.
- 7 ANDERSON, E.C. :
Determination of body potassium by 4- π gamma counting.
In "Proceedings of the second symposium on radio-activity in man".
G. MENEELY Ed. 1963
- 8 ANDERSON. E C
Three component body composition analysis based on potassium and water determinations.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 189.
- 9 ANDERSON, E C , SCHUH, R L , PERRINGS, J. D., and LANGHAM, W. H. :
The Los Alamos human counter
Nucleonics. 1956 14 26
10. " ÅSTRAND, P. -O :
Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age.
Moongraph. Ejnar Munksgaard. Copenhagen 1952.

11. BARTER, J., and FORBES, G.B. ;
Correlation of potassium-40 data with anthropometric measurements.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 264.
12. BEARD, H. H. ;
Creatine and Creatinine Metabolism
Chem. Publish. Comp. Inc. Brooklyn, N. Y., 1943.
13. BEDELL, G. N. , MARSHALL, R. , DUBOIS, A. B., and HARRIS, J. H. .
Measurement of gas in the gastro-intestinal tract : values in normal subjects and ambulatory patients.
J. Clin. Investig. 1956 35, 336
14. BEHNKE, A. R.
Physiologic studies pertaining to deep sea diving and aviation, especially in relation to the fat content and composition of the body
Harvey Lectures Series 1942. 37, 198.
15. BEHNKE, A. R. .
An approach to O₂ consumption of the active protoplasmic mass.
Federation. Proc. 1952, 11, 11.
16. BEHNKE, A. R. .
Relationship between basal metabolism lean body weight and surface area.
Federation Proc. 1953, 12, 13.
17. BEHNKE, A. R.
The relation of lean body weight to metabolism and consequent systematisations.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1953, 56, 1095.
18. BEHNKE, A. R.
The estimation of lean body weight from "skeletal" measurements.
Human Biol. 1959, 31, 295
19. BEHNKE, A. R. ;
Anthropometric fractionation of body weight.
J. Appl. Physiol. 1961, 16, 949.
20. BEHNKE, A. R. .
Quantitative assessment of body built.
J. Appl. Physiol. 1961, 16, 960.
21. BEHNKE, A. R.
Anthropometric evaluation of body composition throughout life.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 450.

22. BEHNKE, A.R., FEEN, B.G., and WELHAM, W.C. :
Specific gravity of healthy men.
J. Am. Med. Assoc. 1942, 118, 495
23. BEHNKE, A.R., and SIRI, W. E. :
The estimation of lean body weight from anthropometric and X-ray measurement.
U.S. Navy Research and Development Technical Report TR- 203, NS O8O-OO1, 1957, San Francisco, California.
24. BEST, W. R. :
An improved caliper for the measurement of skinfold thickness.
J. Lab. Clin. Med. 1954, 43, 967.
25. BEST, W. R., KUHLE, W. J., and FRIEDERMAN, T.E.
Federation Proc. 1952, 11, 188.
26. BLAND, W. H., CASSEN, B., and LEDERER, M. :
Body potassium content in patients with muscular dystrophy.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 282.
27. BLAIR, H. A., DERN, R. J., and BATES, P. L. :
Measurement of volume of gas in the digestive tract.
Am. J. Physiol. 1947, 149, 688.
28. BOHNENKAMP, H., und SCHMÄTTER, J. :
Untersuchungen zu den Grundlagen des Energie- und Stoffwechsels.
IV. Mitteilung. Das Reinvolumen sowie die spezifische Dichte des Menschen und die Bestimmungswerte dieser Größen. Pflüger's Archiv. 1931, 228, 100.
29. BOOTH, R.A., GODDARD, A.B., and PATON, A. :
Measurement of fat thickness in man : a comparison of ultrasound, Harpenden calipers and electrical conductivity.
Brit. J. Nutrit. 1966, 20, 719.
30. BOYD, E.
The specific gravity of the human body.
Human Biol. 1933, 5, 646.
31. BRODIE, B.B., BERGER, E. Y., AXELROD, J., DUNNING, M.F., POROSOWSKA, Y., and STEELE, J.M. :
Use of NAAP in measurement of total body water.
Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 1951, 77, 794.
32. BRODY, S. :
Bioenergetics and Growth, 1943. Reinhold, New-York, N. Y.

33. BROZEK, J. :

Changes of body composition in man during maturity and their nutritional implications.
Federation Proc. 1952, 11, 784.

34. BROZEK, J., GRANDE, F., ANDERSON, J. T., and KEYS, A. :

Densitometric analysis of body composition : revision of some quantitative assumptions.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 1963, 110, 113.

35. CHINN, K.S.K., and ALLEN, F. H. :

Prediction of residual lung volume for purposes of determining total body tissue volume.
USAMRNL Report. Rept n° 252, 1960.

36. CHINN, K.S.K., and PLOUGH, I. C. :

Estimation of fat-free mass and its four components from creatinine excretion.
Federation Proc. 1965, 24, 315 .

37. CLARK, L.C., THOMPSON, H. L., BECK, F. I. and JACOBSON, W. :

Excretion of creatine and creatinine of children.
Am. J. Dis. Child. 1951, 81, 774.

38. CORSA, L. Jr., OLNE, J. M., Jr., STEENBERG, A. W., BELL, M.R., and MOORE, F. D. :

The measurement of exchangeable potassium in man by isotope dilution.
J. Clin. Invest. 1950, 29, 1280.

39. COWGILL, G. R. :

A formula for estimating the specific gravity of the human body with a consideration of its possible uses.
Am. J. Clin. Nutr. 1957, 5, 601.

40. DAVIDSSON, D., MACINTYRE, I., RAPOPORT, A., and BRADLEY, J.E. :

Determination of total body fat in vivo using ^{45}Ca .
Bioch. J. 1956, 62, 34.

41. DOORNENBAL, H. :

The relationship between chromium - 51 determined red cell volume and the lean body mass in rats and pigs.
Dissertation Cornell University graduate School. 1961. Ithaca, N. Y.

42. DOORNENBAL, H., ASDELL, S. A., and WELLINGTON, G. H. :

Chromium - 51 determined red cell volume as an index of lean body mass in live pigs.
J. Animal Sci. 1962, 21, 561.

43. DUCROS, H. :

Recherche des catabolismes protidiques et lipidiques dans l'inanition partielle de courte durée.
Biol. Med. 1971, volume LX, n° 1, 35.

44. FALKNER, F. :

An air displacement method of measuring body volume in babies : a preliminary communication.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 75.

45. FIDANZA, F., KEYS, A., and ANDERSON, J. T. :

Density of body fat in man and in other mammals.
J. Appl. Physiol. 1953, 6, 252.

46. FOMON, S. J., JENSEN, R. L., and OWEN, G. M. :

Determination of body volume by a method of helium displacement.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 80.

47. FORBES, R. M., COOPER, A. R., and MITCHELL, H. H. :

The composition of the adult human body as determined by chemical analysis.
J. Biol. Chem. 1953, 203, 359.

48. FORBES, G. B., and LEWIS, A. M. :

Total sodium, potassium and chloride in adult man.
J. Clin. Invest. 1956, 35, 596.

49. FORBES, G. B., GALLUP, J., and HURSH, J. B. :

Estimation of total body fat from potassium - 40 content.
Science 1961, 133, 101.

50. FORBES, G. B., and HURSH, J. B. :

Age and sex trends in lean body mass calculated from K-40 measurements.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 255.

51. FRIIS-HANSEN, B. J., HOLIDAY, M., STAPLETON, T., and WALLACE, W. M. :

Total body water in children.
Pediatrics 1951, 7, 321.

52. GARN, S. M. :

Fat weight and fat placement in the female.
Science 1957, 125, 1091.

53. GARN, S. M. :

Radiographic analysis of body composition.
In "Techniques for measuring body composition", 1961, J. BROZEK and A. HENSCHEL, Eds., Nat. Acad. Sci., National Research Council, Washington D. C.

54. GARN, S. M. :

Some pitfalls in quantification of body composition.
Ann. N. Y. Acad. Sci., 1963, 110, 171.

55. GARN, S. M., and CLARK, L.C. :
Creatinine-weight coefficient as a measurement of obesity.
J. Appl. Physiol. 1955, 81, 135.
56. GARN, S. M., and NOLAN, P. Jr. :
A tank to measure body volume by water displacement.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 91.
57. GNAEDIGER, R. H., REINEKE, E. P., PEARSON, A. M., VANHUSS, W. D., WESSEL, J. A.,
MONTROYE, H. J. :
Determination of body density by air displacement, helium dilution and underwater weighing.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 96.
58. GOLDMAN, R.F., and BUSKIRK, E. R. :
Body volume measurement by underwater weighing : description of a method.
In "Techniques for measuring body composition", 1961, J. BROZEK and A. HENSEL, Eds.,
Nat. Acad. Sci., National Research Council, WASHINGTON, D.C.
59. HECHTER, H. :
The relationship between weight and some anthropometric measurements in adult males.
Human Biol. 1959, 31, 235.
60. HERTZBERG, H. T., DUPERTUIS, C. W., and EMANUEL, I. :
Stereophotogrammetry as an anthropometric tool.
Photogram. Eng. 1957, 23, 942.
61. HEVESY, G. :
Radioactive Indicators : their application in biochemistry.
Animal Physiol. and Path. 1948, New-York : Interscience Pub.
62. HODGMAN, C. D. :
"Handbook of chemistry and Physics", 1944, Cleveland, 28th Edition.
63. HUNT, E.E. Jan, and HEALD, F.P. :
Physique, body composition and sexual maturation in adolescent boys.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 532.
64. HUNTER A. :
Creatine and creatinine.
Longmans - Greene Comp. 1928, New-York, N. Y.
65. HURST, W. W., SCHEMM, F. R., and VOGEL, W. C. :
Simultaneous determination of total body water by antipyrine and deuterium oxide ; evaluation
of the methods on edematous subjects.
J. Lab. and Clin. Med., 1952, 39, 36.

66. JAECKLE, H. :
Ueber die Zusammensetzung des menschlichen Fettes,
Ztschr. physiol. f. Chem. 1902, 36, 53.
67. KANDEL, G. E. :
Evaluating body composition.
Aerosp. Med. 1969, 40, 486.
68. KATCH, F., MICHAEL, E. D., and HORVATH, S. M. :
Estimation of body volume by underwater weighing : description of a simple method.
J. Appl. Phys. 1967, 23, 811.
69. KEYS, A., and BROZECK, J. :
Body fat in adult man.
Phys. Rev. 1953, 33, 245.
70. KOHLRAUSCH, W. :
Methodik zur quantitativen Bestimmung der Körperstoffe in vivo.
Arbeits physiol. 1929, 2, 23.
71. KRZYWICKI, H. J., and CHINN, K. S. K. :
Body composition of a military population, Fort Carson.
The Amer. J. of Clinic. Nutrition 1967, 20, 708.
72. KRZYWICKI, H. J., CONSOLAZIO, C. F., MATOUSH, L. O., and JOHNSON, H. L. :
Metabolic aspects of acute starvation, body composition changes.
The Amer. J. of Clin. Nutrition 1968, 21, 87.
73. LACOUR, J. R., FLANDROIS, R., OSMAN, H., HEBRAL, D. et Mme DANJOU, J. A. :
Etude comparative de la consommation maximale d'oxygène et de la masse maigre calculée par différentes méthodes.
J. de Physiol. 1968, 60, Suppl. n° 1, 268.
74. LEBIDEAU, G. :
La méthode anthropométrique d'évaluation de la graisse corporelle : mesure du pli cutané.
Bull. Soc. Anthropol. de Paris, 1959, 10, 302.
75. LEBIDEAU, G., ANDRIVET, R., DUMAS, P., et GALLAND, J. E. :
Mesure de la masse grasse corporelle par la technique du pli cutané.
Communic. journées d'endocrinologie, Marseille, mai 1958.
76. LEMAIRE, R., PILLE, G., et DUCROS, H. :
Influence de la race sur l'adaptation au climat saharien.
Bull. de l'IFAN, 1955, 4.

77. LESSER, G. T., BLUMBERG, A. G., and STEELE, J. M. :
Measurement of total body fat in living rats by absorption of cyclopropane
Ann. J. Physiol. 1952, 169, 545.
78. LESSER, G. T., BLUMBERG, A. G., and STEELE, J. M. :
Measurement of total body fat in man by absorption of cyclopropane.
In "Biochemical problems of lipids", 1956, p. 373 - 384. G. POPIAK and E. LEBRETON, Eds.,
Butterworth Sci. Pub., London, England.
79. LESSER, G. T., PERL, W., and STEELE, J. M. :
Determination of total body fat by absorption of an inert gas ; measurements and results in normal
human subjects.
J. Clin. Invest. 1960, 39, 1791.
80. LESSER, G. T., and ZAK, G. :
Measurement of total body fat by the simultaneous absorption of two inert gases.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 40.
81. LESSER, G. T., KUMAR, I. and STEELE, J. M. :
Changes in body composition with age.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 578.
82. LUFT, U. C., CARDUS, D., LIM, T. P., ANDERSON, E. C., and HOWART, J. L. :
Physical performance in relation to body size and composition.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 795.
83. MACGANCE, R. A., and WIDDOWSON, E. M. :
A method of breaking down the body weights of living persons into terms of extracellular fluid,
cell mass and fat, and some applications of it to physiology and medicine.
Proc. Royal Soc. 1951, 138, 115.
84. MARINELLI, L. D. :
The use of NaI-Tl crystal spectrometers in the study of gamma-ray activity in-vivo : a summary of
developments at the Argonne National Laboratory.
Brit. J. Radiol. 1957, Suppl. 7, 38.
85. MENDEZ, J., KEYS, A., ANDERSON, J. T., GRANDE, F. :
Density of fat and bone mineral of mammalian body.
Metabolism, 1960, 9, 472.

86. MENEELY, G. R., HEYSSEL, R. M., BALL, C. O., WEILAND, R. L., LORIMER, A. R.,
CONSTANTINIDES, C., and MENEELY, E. U. :
Analysis of factors affecting subjects.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 271.
87. MILLER, A. T. Jr., and BLYTH, C. S. :
Estimation of lean body mass and body fat from basal oxygen consumption and creatinine excretion.
J. Appl. Physiol. 1952, 5, 73.
88. MILLER, A. T. Jr., and BLYTH, C. S. :
Lean body mass as a metabolic reference standard.
J. Appl. Physiol. 1953, 5, 311.
89. MILLER, C. E., and REMENCHIK, A. P. :
Problems involved in accurately measuring the K-content of the human body.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 175.
90. MITCHELL, H. H., HAMILTON, T. S., STEGGERDA, F. R., and BEAN, H. W. :
The chemical composition of the adult human body and its bearing on the biochemistry of growth.
J. Biol. Chem. 1945, 158, 625.
91. MOULTON, C. R. :
Age and chemical development in mammals.
J. Biol. Chem. 1920, 57, 79.
92. MULDOWNNEY, F. P. :
The relationship of total red cell mass to lean body mass in man.
Clin. Sci. 1957, 16, 163.
93. MULDOWNNEY, F. P., CROOKE, J., and WAYNE, E. J. :
The total red cell mass in thyrotoxicosis and myxoedema.
Clin. Sci. 1957, 16, 309.
94. MURRAY, J. A. :
Chemical composition of animal bodies.
J. Agric. Sci. 1922, 12, 103.
95. NOVAK, L. P. :
Age and sex differences in body density and creatinine excretion of high school children.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 545.
96. NOYONS, A. K., und JONGBLOED, J. :
Ueber die Bestimmung des wahren Volumens und des spezifischen Gewichts von Mensch und Tier
mit Hilfe von Luftdruckveränderung.
Pflüger's Archiv. 1935, 235, 588.

97. OSSERMAN, E. F., PITTS, G. C., WELHAM, W. C., and BEHNKE, A. R. :
In vivo measurement of body fat and body water in a group of normal men.
J. Appl. Physiol. 1950, 2, 633.
98. PACE, N., and RATHBUN, E. N. :
Studies on body composition, III : the body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content.
J. Biol. Chem. 1945, 158, 685.
99. PASCALE, L. R., GROSSMAN, M. I., SLOANE, H. S., and FRANKEL, T. :
Correlations between thickness of skinfolds and body density in 88 soldiers.
Human. Biol. 1956, 28, 165.
100. PFLAUNDER, M. :
Körpermas - Studien an Kindern. IV. Von Körper-volumen und der Körperdichte.
Ztschr. f. Kinderheilk. 1916, 14, 481.
101. PFLEIDERER, H. :
Methodik der Bestimmung des spezifischen Gewichts am Lebenden (Anthropopyknometrie).
Klin. Wschr. 1929, 47, 2191.
102. PIERSON, W. R. :
The validity of stereo-photogrammetry in volume determination.
Photogram. Eng. 1959, 25, 83.
103. PIERSON, W. R. :
Monophotogrammetric determination of body volume.
Ergonomics. 1961, 4, 213.
104. PIERSON, W. R. :
A photogrammetric technique for the estimation of surface area and volume.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 109.
105. PIERSON, W. R., and EAGLE, E. L. :
Nomogram for estimating body fat, specific gravity and lean body weight from height and weight.
Aerosp. Med. 1969, 40, 161.
106. PRENTICE, T. C., SIRI, W. E., BERLIN, N. I., HYDE, G. M., PARSON, R. J., JOINER, E. E.,
and LAWRENCE, J. H. :
Studies of total body water with tritium.
J. Clin. Invest. 1952, 31, 412.

107. RATHBUN, E. N., and PACE, N. :

Studies on body Composition, I : determination of body fat by means of the body specific gravity.

J. Biol. Chem. 1945, 158, 667.

108. ROBERTSON, J. :

An essay towards ascertaining the specific gravity of living men.

Phil. Trans. Royal Soc. London 1757, 50, 30.

109. SIRI, W. E. :

Fat, water and lean tissue studies.

Fed. Proc. 1953, 12, 133.

110. SIRI, W. E. :

An apparatus for measuring human body volume.

U. C. R. L. - 3228, 1955, Univers. of Calif., Berkeley, California.

111. SIRI, W. E. :

Body composition and blood volume in normal and disease state.

J. Clin. Invest. 1956, 35, 735.

112. SIRI, W. E. :

Body composition from fluid spaces and density : analysis of methods.

Donner Lab. Of Biophysics and Medical Physics, University of California ; Report of March 1956 ;

U. C. R. L. - 3349.

113. SIRI, W. E. :

The gross composition of the body.

Adv. Biol. Med. Phys. 1956, 4, 239.

114. SLOAN, A. W. :

Estimation of body fat in young men.

J. Appl. Physiol. 1967, 23, 311.

115. SLOAN, A. W., BURT, J. J., and BLYTH, C. S. :

Estimation of body fat in young women.

J. Appl. Physiol. 1962, 17, 967.

116. SLOAN, A. W., and de V. WEIR, J. B. :

Nomograms for prediction of body density and total body fat from skinfold measurements.

J. Appl. Physiol. 1970, 28, 221.

117. SOBERMAN, R. J. :

Use of antipyrine in measurements of total body water in animals.

Proc. Soc. Exper. Biol. and Med. 1950, 74, 789.

118. SOBERMAN, R. J., BRODIE, B. B., LEVY, B. B., AXELROD, J., HOLLANDER, V., and STEELE, J.M. :
Use of antipyrine in the measurement of total body water in man.
J. Biol. Chem. 1949, 179, 31.
119. SPIVAK, C. D. :
The specific gravity of the human body.
Arch. Int. Med. 1915, 15, 628.
120. STOUFFER, J. R. :
Relationship of ultrasonic measurements and X-rays to body composition.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 31.
121. TALSO, P. J., MILLER, C. E., CARBALLO, A. J., and VASQUEZ, I. :
Exchangeable potassium as a parameter of body composition.
Metabolism 1960, 9, 456.
122. TAYLOR, W. L., and BEHNKE, A. R. :
Anthropometric comparison of muscular and obese men.
J. Appl. Physiol. 1961, 16, 955.
123. VAN DILLA, M. A., and ANDERSON, E. C. :
Human body counters using liquid scintillators.
In "Whole body counting", 1962, 41 - 48. International Atomic Energy Agency - Vienna.
124. VIERORDT, H. :
Daten und Tabellen für Mediziner und Ärzte.
Iena : Fischer, 1888.
125. VIERORDT, H. :
Anatomischer, physiologische und physikalische Daten und Tabellen zum Gebrauch für Mediziner.
Iena : Fischer, 1906.
126. VOLKMANN, A. W. :
Ueber die näheren Bestandtheile der menschlichen Knochen.
Ber. Verh. kgl. sächs. Gesellsch. Wissensch. Leipzig Math. Phys. Klasse 1873, 25, 275.
127. VOLKMANN, A. W. :
Untersuchungen ueber das Mengenverhältniss des Wassers und der Grundstoffe des menschlichen Körpers.
Ber. Verh. kgl. sächs. Gesellsch. Wissensch. Leipzig Math. Phys. Klasse 1874, 26, 202.
128. VON DÖBELN, W. :
Maximum oxygen intake, body size, and total hemoglobin in normal man.
Acta Physiol. scandin. 1956, 38, 193.

129. VON DÖBELN, W. :
Anthropometric estimation of fat-free body weight.
Acta Med. Scandin. 1959, 165, 37.
130. WEDGEWOOD, R. J. , and NEWMAN, R. W. :
Measurement of body fat by air displacement.
Ann. J. Phys. Anthropol. 1953, 11, 260.
131. WHITTINGHAM, P. D. :
The measurement of tissue thickness by ultrasound.
Aerosp. Med. 1962, 33, 1121.
132. WIDDOWSON, E. M., MACGANCE, R. A., and SPRAY, C. M. :
The Chemical composition of the human body.
Clin. Sci. 1951, 10, 113.
133. WILD, T. :
Simplified volume measurement with the polar planimeter.
Surveying and mapping 1954, 14, 218.
134. WILMORE, J. H., and BEHNKE, A. R. :
Predictability of lean body weight through anthropometric assessment in college men.
J. Appl. Phys. 1968, 25, 349.
135. WILMORE, J. H., and BEHNKE, A. R. :
An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men.
J. Appl. Phys. 1969, 27, 25.
136. YOUNG, C. M., BLONDIN, J., TENSUAN, R., and FRYER, J. H. :
Body composition studies of older women, thirty to seventy years of age.
Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963, 110, 589.
137. YUHASZ, M. S. :
The effects of sports training on body fat in man with prediction of optimal weight.
Unpublished Doctoral Thesis - 1962 - Urbana, Ill. : University of Illinois.
138. ZOOK, D. E. :
The physical growth of boys : a study by means of water displacement.
Ann. J. Dis. Child. 1932, 43, 1347.

VU, le Président de Thèse :

VU et permis d'imprimer :

Le Doyen de la Faculté
de Médecine de CAEN

